

УДК 556.06

Е.Н. Сутырина
МЕТОДИКИ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКОВ ПОЛНОГО ОЧИЩЕНИЯ
ОТО ЛЬДА ВОДОХРАНИЛИЩ АНГАРО-ЕНИСЕЙСКОГО КАСКАДА

Иркутский государственный университет, г. Иркутск

Основная цель настоящего исследования – разработка методик долгосрочного прогнозирования сроков полного очищения ото льда Красноярского, Иркутского, Братского и Усть-Илимского водохранилищ с использованием значений телеконнекционного индекса АО (Arctic Oscillation). Установленные в ходе исследования прогнозные зависимости позволяют предвидеть характер развития данного ледового явления со средней заблаговременностью от 29 до 46 сут., максимальной заблаговременностью – от 38 до 58 сут. Величина обеспеченности допустимой погрешности полученных прогностических зависимостей составляет от 89,5 до 94,7%, индекс корреляции имеет значения от 0,89 до 0,91, что определяет категорию качества предложенных методик прогнозирования сроков полного очищения ото льда Красноярского, Иркутского, Братского и Усть-Илимского водохранилищ как хорошую. Значения коэффициента прогностической информативности выше 0,82 демонстрируют временную устойчивость и возможность практического использования полученных методик прогнозирования.

Ключевые слова: индекс АО, ледовые прогнозы, полное очищение ото льда, Ангаро-Енисейский каскад.

E.N. Sutyryna

LONG-TERM FORECASTING TECHNIQUES FOR THE TERMS OF THE COMPLETE
DISAPPEARANCE OF ICE ON RESERVOIRS OF THE ANGARA-YENISEI CASCADE

Irkutsk State University, Irkutsk

The main purpose of the research is to develop techniques for long-term forecasting of when there comes complete disappearance of ice on Krasnoyarsk, Irkutsk, Bratsk and Ust'-Ilimsk reservoirs using teleconnection AO (Arctic Oscillation) index values. The predictive dependencies obtained in the course of the study permit to anticipate forecasted ice phenomena with an average lead time from 29 to 46 days and maximum lead time from 38 to 58 days. The probability values for the margin of error of the received predictive dependencies are from 89.5 to 94.7%, their correlation index ranges from 0.89 to 0.91. Thus, the quality class for the proposed forecasting techniques for the terms of the complete disappearance of ice on Krasnoyarsk, Irkutsk, Bratsk and Ust'-Ilimsk reservoirs is identified as a good one. The values of prognostic information coefficient above 0.82 reveal the temporal stability and possibility of practical use of the predictive techniques obtained.

К е у w o r d s : AO index, ice forecasts, complete disappearance of ice, Angara-Yenisei cascade

doi 10.17072/2079-7877-2017-1-66-72

Введение

Самые крупные гидроэлектростанции в России входят в состав Ангаро-Енисейского каскада, который включает Иркутскую (г. Иркутск), Братскую (г. Братск), Усть-Илимскую (г. Усть-Илимск) и Богучанскую (г. Козинск) ГЭС на р. Ангаре, а также Саяно-Шушенскую (г. Саяногорск), Майнскую (пос. Майна) и Красноярскую (г. Дивногорск) ГЭС на р. Енисей. Ангарские и Енисейские гидроэлектростанции работают в единой энергосистеме Сибири в взаимозависимом компенсационном режиме. Водоохранилища Ангаро-Енисейского каскада ГЭС расположены в районе с резко континентальным климатом, в зимний период замерзают и бывают покрыты ледяным покровом от четырех до шести месяцев в году [3; 8; 9]. Ледовый режим водохранилищ Ангаро-Енисейского каскада ГЭС тесно связан с погодными условиями, в связи с чем сроки наступления ледовых явлений подвержены значительной межгодовой изменчивости, что определяет актуальность выпуска ледовых прогнозов. Прогнозирование ледовых условий крупных судоходных водохранилищ

имеет большую практическую ценность, в том числе для планомерного проведения навигации, так как ледяной покров препятствует судоходству [16].

Проблема разработки надежных долгосрочных ледовых прогнозов, являясь одной из наиболее сложных в гидрологии, еще не получила удовлетворительного решения [6]. При разработке методов долгосрочных ледовых прогнозов ключевой проблемой является выявление атмосферных процессов, обуславливающих с определенной заблаговременностью особенности теплообмена между подстилающей поверхностью и атмосферой, и установление прогностических зависимостей с индексами, характеризующими атмосферные процессы [1]. Одной из наиболее важных фаз ледового режима, для которых составляются долгосрочные ледовые прогнозы, является полное очищение водоема ото льда. Таким образом, цель настоящего исследования – разработка методик долгосрочного прогнозирования сроков полного очищения ото льда Красноярского, Иркутского, Братского и Усть-Илимского водохранилищ с использованием значений телеконнекционного индекса арктической осцилляции АО (Arctic Oscillation).

Материалы и методы исследования

Согласно техническому регламенту Всемирной метеорологической организации долгосрочные гидрологические прогнозы относятся к периоду заблаговременности более 10 сут. [16]. Разработка методик долгосрочных ледовых прогнозов включает следующие этапы [6; 16]:

1. Исследование специфики ледовых условий изучаемых водоемов, включая определение сроков наступления прогнозируемого явления, их крайние и средние даты и межгодовую изменчивость.
2. Анализ атмосферных процессов, приводящих к выносу теплых или холодных воздушных масс в район исследования и оказывающих влияние на протекание ледовых явлений.
3. Обнаружение взаимосвязи между ледовыми явлениями и показателями, представляющими соответствующие атмосферные процессы.
4. Разработка прогнозных зависимостей, позволяющих предвидеть характер развития ледовых явлений с определенной заблаговременностью.
5. Оценка эффективности предложенных методик ледового прогноза.

Для разработки методик долгосрочного прогнозирования в рамках настоящего исследования были использованы сроки полного очищения ото льда Красноярского, Иркутского, Братского и Усть-Илимского водохранилищ, определенные с применением данных радиометра AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) и спектрометрира MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) по методике, описанной в [12] за период с 1998 по 2016 г. Водохранилище, созданное плотиной Богучанской ГЭС, имеет недостаточный период эксплуатации для разработки надежных прогностических зависимостей, в связи с чем не рассматривается в ходе исследования. Ширина Майнского и значительных участков Саяно-Шушенского водохранилищ менее 1 км обуславливает ограничения на изучение данных водных объектов с применением указанных среднemasштабных и мелкомасштабных спутниковых данных, поэтому эти водоемы также не являются объектами данного исследования.

В работе с применением спутниковой информации определены крайние и средние даты и межгодовая изменчивость сроков полного очищения ото льда Красноярского, Иркутского, Братского и Усть-Илимского водохранилищ за период 1998–2016 гг. (табл. 1). В соответствии с приведенной информацией сроки полного очищения ото льда изучаемых водохранилищ изменялись в широких пределах с размахом от 21 до 26 сут. (табл. 1).

Межгодовая изменчивость протекания ледовых явлений на изучаемых водохранилищах во многом связана с колебанием крупномасштабных процессов в атмосфере, развивающихся в течение продолжительного времени и занимающих значительное пространство. Поэтому при прогнозах ледовых явлений необходим учет атмосферных процессов над большими районами Северного полушария [1]. Важнейшим крупномасштабным атмосферным процессом, определяющим межгодовую изменчивость погодных и климатических условий в высоких и средних широтах Северного полушария в холодное время года, является арктическая осцилляция. В положительной фазе индекса АО циркулирующее вокруг Северного полюса кольцо сильных ветров сдерживает поступление более холодного воздуха из полярных регионов в более низкие широты. В отрицательной фазе индекса АО упомянутый выше пояс ветров ослабевает и деформируется, что благоприятствует более легкому проникновению холодных арктических воздушных масс на юг и увеличению штормовой активности в средних широтах [14].

Таблица 1

Сроки полного очищения ото льда Красноярского, Иркутского, Братского и Усть-Илимского водохранилищ за период с 1998 по 2016 г.

Характеристика	Красноярское водохранилище	Иркутское водохранилище	Братское водохранилище	Усть-Илимское водохранилище
Средний срок полного очищения	16 мая	11 мая	29 мая	30 мая
Срок наиболее раннего полного очищения	4 мая	30 апреля	17 мая	18 мая
Срок наиболее позднего полного очищения	28 мая	26 мая	7 июня	9 июня
Размах сроков полного очищения, сут.	24	26	21	22
Среднее квадратическое отклонение, сут.	7	7	7	7

В России связь параметров ледового режима крупных внутренних водоемов со значениями телеконнекционных индексов исследовалась в работах [10–12; 17] и др. Влияние на ледовый режим характера атмосферного переноса, отраженного в значениях АО, оказывается обусловленным формированием полей давления, температуры воздуха, ветра, влажности и т.д. [4; 10; 13].

В ходе данного исследования установлено существование связи сроков очищения ото льда изучаемых водохранилищ со значениями индекса АО по данным NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) [15], усредненными за различные периоды времени, которые частично или полностью включают осеннее и предледоставное охлаждение, ледостав, период таяния и разрушения льда.

Наиболее выраженная связь сроков очищения ото льда Красноярского, Иркутского, Братского и Усть-Илимского водохранилищ наблюдается со значениями индекса АО, усредненными за период с ноября по апрель, с коэффициентом корреляции, достигающим от $-0,83$ (Братское водохранилище) до $-0,94$ (Красноярское водохранилище). На рис. 1 видно, что межгодовые колебания сроков очищения ото льда изучаемых акваторий в целом находятся в противофазе к межгодовым колебаниям значений индекса АО, усредненных за период с ноября по апрель.

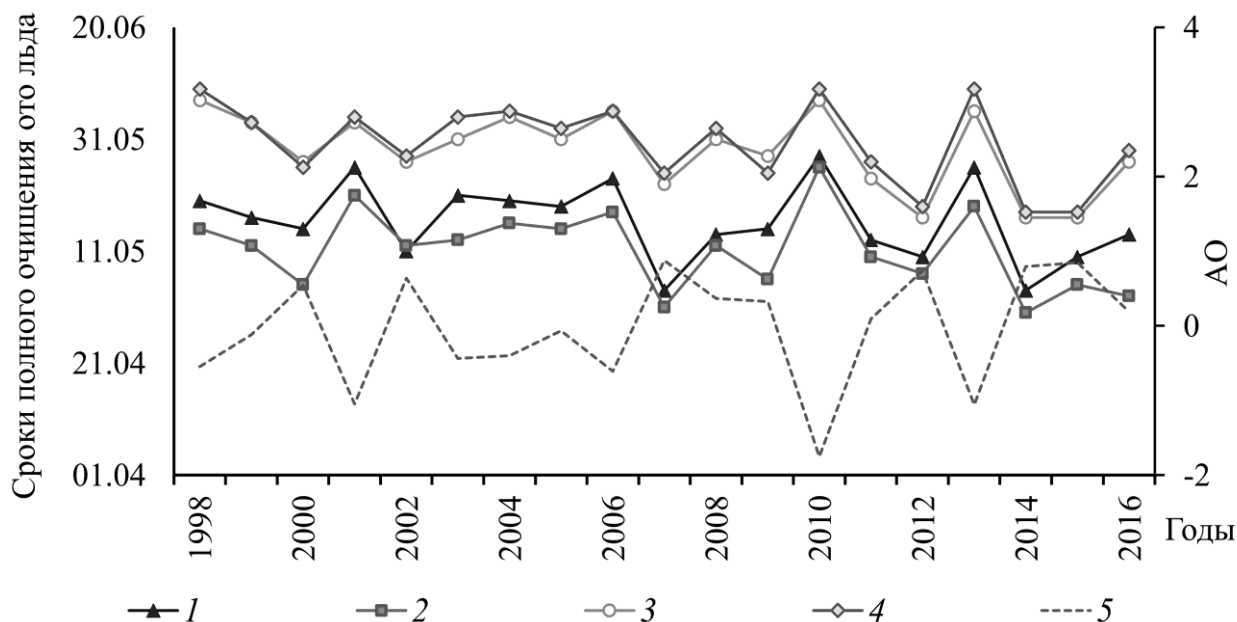


Рис. 1. Межгодовой ход сроков очищения ото льда исследуемых акваторий по спутниковым данным в сопоставлении с ходом значений индекса АО, усредненных за период с ноября по апрель: 1 – Красноярское водохранилище, 2 – Иркутское водохранилище, 3 – Братское водохранилище, 4 – Усть-Илимское водохранилище, 5 – АО

Результаты и их обсуждение

Так как изменение активности телеконнекционного индекса АО находит отражение в динамике ледового режима Красноярского, Иркутского, Братского и Усть-Илимского водохранилищ, то возможно использовать значения указанного индекса в качестве предиктора в прогнозных зависимостях. В результате исследования на основании анализа массивов данных о сроках полного очищения по спутниковым данным за 1998–2016 гг. и значений телеконнекционных индексов АО, усредненных за различные интервалы времени, автором были предложены прогнозные полиномиальные зависимости второго порядка для Красноярского и Иркутского водохранилищ (1):

$$\Delta\tau = \zeta_0 + \zeta_1 X + \zeta_2 X^2 \quad (1)$$

и третьего порядка для условий Братского и Усть-Илимского водохранилищ (2):

$$\Delta\tau = \zeta_0 + \zeta_1 X + \zeta_2 X^2 + \zeta_3 X^3, \quad (2)$$

где $\Delta\tau$ – отклонение даты полного очищения акватории ото льда от среднего значения, сутки; X – предиктор, в качестве которого выступает индекс АО, усредненный за различные периоды, которые приведены в табл. 2; $\zeta_0, \zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$, – наборы региональных регрессионных коэффициентов, полученных с использованием метода наименьших квадратов, сут. (табл. 2).

Выпуск ледовых прогнозов для Красноярского и Иркутского водохранилищ по предложенному методу может быть осуществлен 1 апреля, для Братского и Усть-Илимского водохранилищ – 1 мая. Средняя заблаговременность прогнозов по предложенному методу составляет от 29 (Братское водохранилище) до 46 сут. (Красноярское водохранилище), максимальная заблаговременность прогнозов доходит до 58 сут. (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики прогнозных зависимостей для определения сроков полного очищения ото льда Красноярского, Иркутского, Братского и Усть-Илимского водохранилищ

Характеристика прогнозной зависимости	Красноярское водохранилище	Иркутское водохранилище	Братское водохранилище	Усть-Илимское водохранилище
ζ_0 , сут.	-1,29	-2,02	2,43	1,43
ζ_1 , сут.	-8,01	-7,16	-8,27	-9,51
ζ_2 , сут.	-1,18	-0,08	-5,59	-4,47
ζ_3 , сут.	-	-	-1,68	-0,81
Период осреднения предиктора	Ноябрь–март	Ноябрь–март	Ноябрь–апрель	Ноябрь–апрель
Средняя заблаговременность прогнозов, сут.	46	41	29	30
Максимальная заблаговременность прогнозов, сут.	58	56	38	40
Индекс корреляции ρ	0,91	0,89	0,89	0,91
Обеспеченность допустимой погрешности прогнозов p , %	89,5	89,5	94,7	94,7
Коэффициент прогностической информативности	0,85	0,83	0,82	0,83
Категория качества методики прогнозирования	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая

Качество предложенных прогнозных зависимостей устанавливалось по индексу корреляции, который применяется для анализа тесноты связи, в том числе в случае нелинейных зависимостей (3):

$$\rho = \sqrt{1 - (S/\sigma)^2}, \quad (3)$$

где S – среднеквадратическая погрешность проверочных прогнозов, сут.; σ – среднеквадратическое отклонение прогнозируемого значения элемента от среднего, сут. [2; 5]. При длине ряда 19 лет, используемого в рамках исследования, прогнозная методика считается хорошей, если $\rho \geq 0,89$, удовлетворительной, если $0,66 \leq \rho < 0,89$. Значения индекса корреляции для исследуемых зависимостей составили от 0,89 до 0,91 (табл. 2), что относит полученные прогнозные методики к хорошим. В соответствии с оправдываемостью ледовых прогнозов существует еще один не менее важный

критерий определения категории качества методики прогнозирования, которым является величина обеспеченности допустимой погрешности прогнозов p , %. Прогноз считается оправдавшимся, если его ошибка меньше или равна допустимой погрешности. Согласно [2; 5; 7] величина допустимой погрешности прогнозов наступления ледовых явлений может быть принята равной $0,674\sigma$, что в случае настоящего исследования составляет 5 сут. В соответствии с этой величиной на рис. 2 область, отвечающая оправдавшимся прогнозам, лежит между двумя наклонными пунктирными линиями.

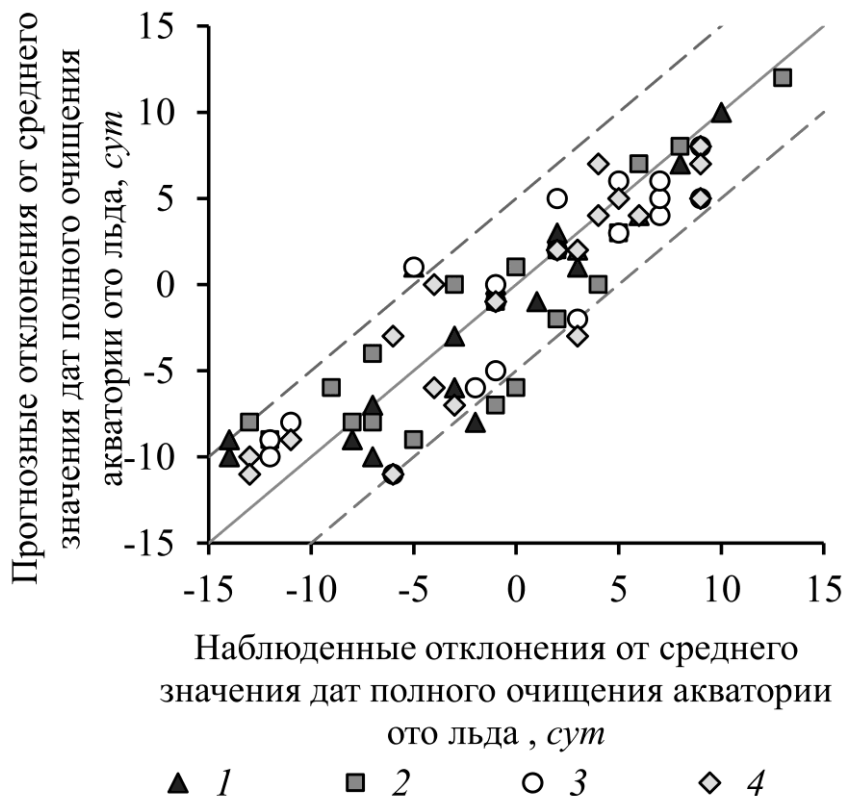


Рис. 2. Сопоставление прогнозируемых сроков полного очищения акваторий ото льда со сроками, определенными по данным спутниковых наблюдений: 1 – Красноярское водохранилище, 2 – Иркутское водохранилище, 3 – Братское водохранилище, 4 – Усть-Илимское водохранилище

Прогнозная методика является хорошей, если величина обеспеченности допустимой погрешности прогнозов $p \geq 82\%$, удовлетворительной, если $60 \leq p \leq 81\%$ [2]. Величина p для предложенных зависимостей составила от 89,5 до 94,7% (см. табл. 2), что позволяет отнести полученные в работе зависимости по категории качества методики прогнозирования к хорошим.

Расчет приведенных выше показателей, значения которых указаны в табл. 2, проводился по исходному ряду. Вследствие чего дополнительно была оценена временная устойчивость прогностических зависимостей методом «выбрасываемых точек» [7]. Этот метод состоит в определении прогностического уравнения при исключении из ряда от одного до пяти лет и в составлении по полученным уравнениям проверочных прогнозов для исключенных лет. Исключая из ряда последовательно каждый следующий год, получают весь ряд прогнозируемых значений и рассчитывают коэффициент корреляции данных величин с фактическими значениями за те же годы. Вычисленная величина коэффициента корреляции называется коэффициентом прогностической информативности и служит показателем временной устойчивости зависимостей. Достаточно устойчивыми и применимыми на практике для выпуска ледовых прогнозов считаются прогностические зависимости со значениями коэффициентом прогностической информативности не менее 0,6 [7]. Значения коэффициента прогностической информативности полученных в работе зависимостей составляют от 0,82 до 0,85 (см. табл. 2), что демонстрирует временную устойчивость данных прогностических методик и возможность их практического использования.

Выводы

В рамках настоящего исследования было установлено, что межгодовые колебания сроков очищения ото льда Красноярского, Иркутского, Братского и Усть-Илимского водохранилищ

находятся в противофазе к межгодовым колебаниям значений телеконнекционного индекса АО, вычисленного с определенной заблаговременностью ко времени полного исчезновения льда на водоемах, что обуславливает возможность использования значений данного индекса в качестве предиктора в региональных прогнозных зависимостях. В итоге исследования для всех изучаемых водохранилищ автором были установлены прогнозные зависимости со средней заблаговременностью от 29 до 46 сут.

В результате оценки эффективности предложенных прогностических зависимостей по нескольким показателям было выявлено, что категория качества методик прогнозирования сроков полного очищения Красноярского, Иркутского, Братского и Усть-Илимского водохранилищ определяется как хорошая. Высокое значение коэффициента прогностической информативности для всех разработанных прогностических методик продемонстрировало их временную устойчивость и возможность их практического применения для выпуска ледовых прогнозов.

Библиографический список

1. *Георгиевский Ю.М.* Краткосрочные и долгосрочные прогнозы ледовых явлений на реках, озерах и водохранилищах. Л.: Изд-во ЛГМИ, 1986. 50 с.
2. *Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В.* Гидрологические прогнозы. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2007. 436 с.
3. *Донченко Р.В.* Ледовый режим рек СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 247 с.
4. *Крыжов В.Н., Горелиц О.В.* Арктическая осцилляция и ее влияние на температуру и осадки в Северной Евразии в XX в. // *Метеорология и гидрология*. 2015. № 11. С. 5–19.
5. *Наставление по службе прогнозов*. Л.: Гидрометеиздат, 1962. Разд. 3. Ч. 1. 192 с.
6. *Попов Е.Г.* Основы гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 296 с.
7. *РД 52.27.284-91.* Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1991, 150 с.
8. *Ресурсы поверхностных вод СССР*. Л.: Гидрометеиздат, 1973. Т. 16, в. 1. 724 с.
9. *Ресурсы поверхностных вод СССР*. Л.: Гидрометеиздат, 1972. Т. 16, в. 2. 592 с.
10. *Сизова Л.Н., Куимова Л.Н., Шимараев М.Н.* Влияние циркуляции атмосферы на ледово-термические процессы на Байкале в 1950-2010 годы // *География и природные ресурсы*. 2013. № 2. С. 74–82.
11. *Сутырина Е.Н.* Применение материалов дистанционного зондирования для изучения особенностей разрушения снежно-ледяного покрова на озере Байкал и озере Хубсугул // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2014. № 34. С. 85–92.
12. *Сутырина Е.Н.* Изучение внутренних водоемов и водосборов с применением данных дистанционного зондирования Земли. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2014. 133 с.
13. *Шимараев М.Н., Старыгина Л.Н.* Зональная циркуляция атмосферы, климат и гидрологические процессы на Байкале (1968-2007 гг.) // *География и природные ресурсы*. 2010. № 3. С. 62–68.
14. Arctic Oscillation (AO) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/ao/> (дата обращения: 20.11.2016).
15. Arctic Oscillation [Электронный ресурс]. URL: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao.shtml (дата обращения: 28.10.2016).
16. *Guide to Hydrological Practices*. Geneva: WMO, 2009. No. 168. Vol. II. 302 p.
17. *Kryzhov S., Naumenko M.* Lake Ladoga ice phenology: mean condition and extremes during last 65 years // *Hydrological Processes*, 2011. Vol. 25. P. 2859-2867.

References

1. Georgievskii, Yu.M. (1986), *Kratkosrochnye i dolgosrochnye prognozy ledovyh javlenij na rekah, ozerah i vodohranilishhah* [Short-term and long-term forecasts of ice phenomena on rivers, lakes and reservoirs], Leningrad, USSR.
2. Georgievskii, Yu.M., and Shanochkin S.V. (2007), *Gidrologicheskie prognozy* [Hydrological forecasts], Saint-Petersburg, USSR.
3. Donchenko, R.V. (1987), *Ledovyi rezhim rek SSSR* [Ice regime of rivers of the USSR], Leningrad, USSR.
4. Kryzhov, V.N., and Gorelits, O.V. (2015), "Arctic Oscillation and its effect on the temperature and precipitation in the Northern Eurasia in the twentieth century", *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], no. 11, pp. 5–19.

5. *Nastavlenie po sluzhbe prognozov. Razd. 3. Ch. 1* [Manual on forecast service. Sec. 3. Pt. 1.], (1962), Leningrad, USSR.
6. Popov E.G. (1968), *Osnovy gidrologicheskikh prognozov* [Bases of hydrological forecasts], Leningrad, USSR.
7. RD 52.27.284–91. *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu proizvodstvennykh (operativnykh) ispytaniy novykh i usovershenstvovannykh metodov gidrometeorologicheskikh i geliogeofizicheskikh prognozov* [RD 52.27.284–91. Guidelines for the production (operational) testing of new and improved methods of hydrometeorological and heliogeophysical forecasts]/ (1991), Leningrad, Russia.
8. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 16. Vyp. 1* [Surface water resources of the USSR. Vol. 16. Issue 1], (1973), Leningrad, USSR.
9. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 16. Vyp. 2* [Surface water resources of the USSR. Vol. 16. Issue 2], (1972), Leningrad, Russia.
10. Sizova, L.N., Kuimova, L.N., and Shimaraev, M.N. (2013), "The Influence of atmospheric circulation on ice-thermal processes in Lake Baikal in 1950-2010 years", *Geografija i prirodnye resursy*. [Geography and Natural Resources], no 2, pp. 74–82.
11. Sutyryna, E.N. (2014), "Application of the remote sensing data to the study of the features of the destruction of snow-ice cover of Lake Baikal and Lake Hovsgol", *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. [Scientific notes of Russian State Hydrometeorological University], no. 34, pp. 85-92.
12. Sutyryna, E.N. (2014), *Izuchenie vnutrennikh vodoemov i vodosborov s primeneniem dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [The study of inland waters and watersheds using remote sensing data], Irkutsk, Russia.
13. Shimaraev, M.N., and Starygina, L.N. (2010), "Zonal circulation of the atmosphere, climate and hydrological processes at lake Baikal (1968-2007)", *Geografija i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources], no. 3, pp. 62-68.
14. "Arctic Oscillation (AO)", available at: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/ao/> (Accessed 20.11.2016).
15. "Arctic Oscillation", available at: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao.shtml (Accessed 28.10.2016).
16. *Guide to Hydrological Practices*, No. 168. Vol. II. (2009), WMO, Geneva.
17. Karetnikov S., and Naumenko, M. (2011), "Lake Ladoga ice phenology: mean condition and extremes during last 65 years", *Hydrological Processes*, vol. 25, pp. 2859–2867.

Поступила в редакцию: 14.12.2016

Сведения об авторе

Сутырина Екатерина Николаевна

кандидат географических наук,
доцент кафедры гидрологии и
природопользования Иркутского
государственного университета;
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1;
e-mail: ensut78@gmail.com

About the author

Ekaterina N. Sutyryna

Candidate of Geographical Sciences, Associate
Professor, Department of Hydrology and
Environmental Management, Irkutsk State
University;
1, Karl Marx st., Irkutsk, 664003, Russia;
e-mail: ensut78@gmail.com

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Сутырина Е.Н. Методики долгосрочного прогнозирования сроков полного очищения ото льда водохранилищ Ангаро-Енисейского каскада // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. №1(40). С. 66–72. doi 10.17072/2079-7877-2017-1-66-72

Please cite this article in English as:

Sutyryna E.N. Long-term forecasting techniques for the terms of the complete disappearance of ice on reservoirs of the Angara-Yenisei cascade // Geographical bulletin. 2017. № 1(40). P. 66–72. doi 10.17072/2079-7877-2017-1-66-72