

УДК 551.322:551.501

doi: 1033933/2713-3001-2023-71-335-343

О перспективных направлениях развития методов гидрометеорологических наблюдений за снежным и ледовым покровом

Валерий Юрьевич Цепелев

Российский Государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург,
РФ, v0010200@mail.ru

Аннотация. Техническое перевооружение гидрометеорологической службы не позволило достичь необходимой степени автоматизации наблюдательной сети, ее количественной и качественной оптимизации. Попытка преодолеть технологическое отставание не может быть реализована методом постоянной «гонки преследования». Только внедрение инновационных методов наблюдений, например, георадаров для мониторинга толщины снежного и ледового покрова, радиолокаторов бокового обзора для мониторинга ледовых полей в Арктике и других нетрадиционных подходов могут позволить гидрометеорологической службе занять достойное место в ряду мировых технологических лидеров.

Ключевые слова: гидрометеорологические наблюдения, георадар, радиолокатор бокового обзора, наблюдения за толщиной снега и льда, БПЛА, модернизация гидрометнаблюдений

Введение

В рамках исполнения «Стратегии деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях на период до 2030 года», Правительством Российской Федерации была поставлена задача формирования высокоэффективной Гидрометеорологической службы, обеспечивающей выполнение функций по предоставлению потребителям своевременной и достоверной информации о состоянии окружающей среды на базе современных технологий. К настоящему времени пройдено уже более половины пути по модернизации и выведению на современный технологический уровень наблюдательной сети Росгидромета, но, к сожалению, по многим параметрам на сети все еще не удалось достичь необходимой степени автоматизации наблюдений. Ручные методы гидрометеорологических наблюдений, которые требуют большого количества персонала достаточно низкой квалификации, все еще доминируют над автоматическими на наблюдательной сети Росгидромета. В частности, наблюдения за снежным и ледовым покровом в массе своей проводятся ручными методами, что ограничивает возможности повышения качества гидрологических прогнозов (Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. РД 52.04.666-2005.2006).

Преодоление технологического отставания Росгидромета не может быть реализовано методом постоянной «гонки преследования», которая ведется как по причине хронического недофинансирования, так и постепенного вымывания из службы высококвалифицированного персонала. Только внедрение инновационных методов наблюдений могут позволить гидрометеорологической службе Российской Федерации занять достойное место в ряду мировых технологических

лидеров. Цель данной статьи состоит в рассмотрении технологических новинок, позволяющих нетрадиционными методами сократить расходы на проведение наблюдений за снежным и ледовым покровом и повысить их качество.

Инновационные методы наблюдений за снежным и ледовым покровом

Одной из основных проблем, с которыми сталкивается гидрометеорологическая служба РФ при обслуживании навигации по Северному Морскому Пути (СМП), является отсутствие отечественных космических аппаратов с радиолокатором бокового обзора (РЛО) на борту, который позволяет вести мониторинг ледового покрова Арктики вне зависимости от погодных условий. Поскольку в ближайшие годы не планируется запуск таких аппаратов в интересах Росгидромета, а интенсивность навигации по СМП возрастает год от года, то относительно дешевой и эффективной альтернативой спутниковой ледовой разведке могут служить беспилотные летательные аппараты (БПЛА). БПЛА, оперирующие с борта ледоколов, позволят осуществлять тактическую ледовую разведку по маршруту следования судов. Одним из успешных примеров разработки комплекса ледовой разведки на базе БПЛА с локатором бокового обзора является аппаратно-программный комплекс, разработанный в Московском Физико-Техническом Институте (МФТИ), который в настоящее время проходит полевые испытания. Комплекс позволяет получать с борта БПЛА многополяризационные радиолокационные изображения подстилающей поверхности в X и C-диапазонах (рис. 1). При этом полоса захвата изображения, получаемая с РЛО составляет 8—10 км при высоте полета БПЛА 2 км, а радиус проведения ледовой разведки составляет 100 км (рис. 2), что позволяет проводить мониторинг ледового покрова на расстоянии от ледокола, соответствующего его суточному переходу [1].



Рис. 1. Беспилотный летательный аппарат с локатором бокового обзора на борту, предназначенный для получения радиолокационной картины льда на расстояниях до 100 км от места взлета. Комплекс эксплуатируется с борта ледокола.

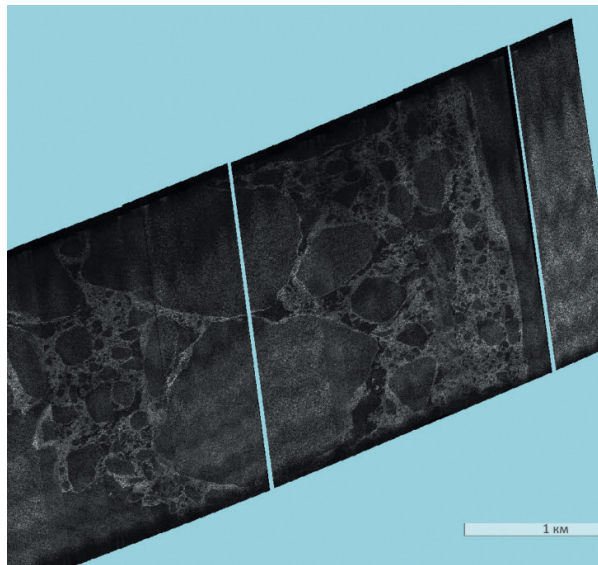


Рис. 2. Поляризметрические изображения ледового покрова Обской губы, получаемые в режиме реального времени с РЛС С-диапазона.

Специфика формирования ледовых полей не позволяет по отдельным радиолокационным изображениям однозначно определять тип льда и его толщину. В зависимости от «истории формирования» и географического расположения акватории ледяного поля разные типы льдов могут выглядеть одинаково на одном и том же изображении, а одинаковые типы льда по-разному на разных снимках. Для уточнения типа ледяного покрова необходимо знать его толщину. В настоящее время в оперативной практике ледовой разведки для определения толщины льда в основном используется либо ручное бурение морского льда на ограниченном количестве прибрежных гидрометеорологических станций, либо визуальным методом с борта судна. При этом первый способ позволяет получить информацию в редких точках Арктического бассейна, а второй — возможно использовать только в качестве посториорной информации для верификации толщины льда [2].

Для решения проблемы определения типа и толщины льда предложены различные методы. Так, в США разработана и многие годы используется методика измерения высоты поверхности ледового покрова со спутника при помощи радиолокационного альтиметра с точностью до 2—3 см. Знание высоты льда над поверхностью моря (геоида) в данной точке позволяет рассчитать толщину льда, исходя из его средней плотности. В связи с тем, что примерно 10 % массы льда находится над уровнем водной поверхности, а 90 % — под водой, то измерение высоты поверхности льда дает возможность рассчитать общую толщину льда. При этом чем толще лед, тем выше точность его измерения. При толщине льда 1 метр погрешность измерения толщины составит 20 %. Основным недостатком спутниковых измерений является их крайняя недостаточность. Пролет спутника

над одним и тем же районом акватории СМП происходит один раз в несколько суток, а измерения толщины льда осредняются для пятна диаметром в 50 километров, что абсолютно недостаточно для осуществления оперативного ледового прогноза [3].

В МФТИ предлагается оснащение БПЛА недорогим радиолокационным альтиметром, аналогичным тому, который используется для определения высоты полета летательного аппарата над поверхностью моря, что позволит получать в реальном режиме времени не только радиолокационную картину поверхности льда, но и определять его толщину по маршруту полета. Такой подход позволяет комплексно анализировать информацию о типе льда и его толщине, что в значительной степени решает проблему проведения оперативной тактической ледовой разведки в условиях Арктики.

Еще одним способом дистанционного измерения толщины льда является использование георадарных методов [4, 5]. Широкополосный георадар, работающий на низких частотах (50—250 МГц) и частотах 300—1300 МГц позволяет измерять морской лед толщиной от 30 см до 7 м, и потенциально до 10 метров. Испытания георадара на льдах Белого моря показали успешные результаты в случае установки прибора на борту БПЛА и зондирования льдов с высоты до 8 метров (рис. 3).

Использование георадарных методов направлено на получение информации в реальном режиме времени с борта БПЛА, но связано с трудностями, вызванными искажением информации, получаемой на соленых морских акваториях. В связи с этим наиболее эффективное использование георадарных технологий предлагается применять для измерения толщины льда на слабосоленых и пресных водоемах, где точность измерения составляет 1—3 сантиметра.

В настоящее время измерение толщины льда на морских гидрометеорологических станциях производится путем бурения лунок и проведения измерений при помощи линейки. Данные измерения высоко трудозатратны, производятся с низкой скоростью в ограниченном районе и не могут репрезентативно описывать толщину льда на больших водоемах. Ошибки измерения толщины льда зависят в первую очередь от того, насколько корректно выбраны точки для бурения лунок. Георадарные съемки, которые проводятся с высокой скоростью и на больших площадях, значительно эффективнее и дешевле ручных измерений.

Преимущества применения георадаров при производстве гидрометеорологических наблюдений:

- Данные передаются в реальном режиме времени.
- Точность измерения толщины пресного льда/снега составляет 2—4 см.
- Скорость движения при проведении зондирования составляет до 40 км/час.
- Информации о толщине льда/снега получается по выбранному маршруту произвольной длины.
- Существует возможность применения георадара в труднодоступных местах при размещении прибора на БПЛА.
- Значительно сокращаются трудозатраты и осуществляется автоматизация ручного труда.
- Повышается безопасность персонала при производстве измерений.



Рис. 3. Испытания георадара производства компании «Терразонд», установленного на борту БПЛА «Ирбис» в мае 2023 года на акватории Белого моря.

Для производства измерений в настоящее время уже доступны массово выпускаемые георадары-ледомеры типа «Пикор-лед», имеющие невысокую стоимость (около 300 тысяч рублей) и уже несколько лет используемые службами МЧС для обслуживания зимних ледовых переправ на реках и озерах (рис. 4 и 5). Использование георадара при производстве ледовых измерений пресноводных водоемов имеет несомненные преимущества перед ручным типом измерений, практикующимся на наблюдательной сети Росгидромета [8].

Еще одним направлением в области гидрометеорологических наблюдений, в котором внедрение георадарных технологий позволит нарастить как объем наблюдений, так и повысить их качество и удешевить производство измерений, являются снегомерные маршрутные съемки.

В настоящее время на более чем 500 станциях наблюдательной сети Росгидромета проводятся маршрутные снегомерные съемки (рис. 6). Наблюдения за снежным покровом по регламенту маршрутных снегосъемок осуществляются через каждые 10 дней в течение холодного периода года и каждые пять дней в период интенсивного снеготаяния. Длина маршрута, на котором проводится снегосъемка,



Рис. 4. Георадар «Пикор-лед», размещенный на судне на воздушной подушке МЧС.

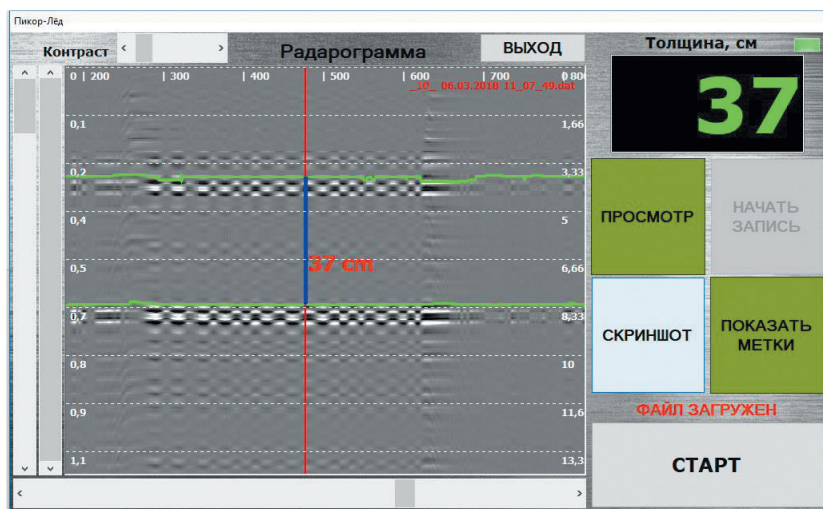


Рис. 5. Радарограмма толщины пресного льда, получаемая с георадара «Пикор-лед».

составляет 1 км в поле и 2 км в лесу. Каждые 10 метров в лесу или 20 метров в поле измеряются высота и плотность снежного покрова при помощи переносной снегомерной рейки и весовому снегомеру. Проблемы проведения маршрутных снегосъемок нарастают с каждым годом по мере старения личного состава Росгидромета, средний возраст которого по состоянию на 2022 год составляет



Рис. 6. Наблюдательная сеть Росгидромета, на которой проводятся маршрутные снегосьемки.

50 лет. Значительные физические трудозатраты, устаревшее ручное оборудование и низкая заработная плата персонала приводят к снижению качества и объема снегосъемок. Георадар позволяет проводить со снегохода с высокой скоростью непрерывные измерения толщины снежного покрова с точностью до 2—4 сантиметра и выявлять неоднородности в его плотности [7]. Измерение плотности снежного покрова только в ключевых точках маршрута позволит получать репрезентативную плотность снежного покрова. Использование георадаров для проведения снегосъемок даст возможность повысить качество измерений, увеличит количество обследуемых маршрутов в интересах потребителей и прогнозистов и будет способствовать привлечению молодого высоко квалифицированного персонала.

Преимущества автоматизации снегосъёмки:

- сокращение ручного труда на метеостанциях;
- проведение работ при помощи экспедиционного состава без привлечения персонала наблюдательной сети;
- расширение обследуемых площадей;
- увеличение качества проводимых наблюдений;
- повышение качества прогнозов паводка и влагозапаса;
- сокращение затрат на проведение наблюдений;
- повышение привлекательности труда для молодых специалистов.

Заключение

Внедрение нетрадиционных современных технологий для производства метеорологических наблюдений позволит не только повысить их эффективность и качество, но и сократить низкоквалифицированный персонал, а, как следствие, поднять среднюю заработную плату и привлечь в службу молодых специалистов.

В статье приведены предложения по внедрению новых технологий только для ограниченного набора наблюдений, связанного с проведением мониторинга снежного и ледового покрова. Более глубокое изучение проблемы модернизации наблюдательной сети позволит внедрить современные методы для производства других типов наблюдений и вывести ее на современный технологический уровень.

Список литературы

1. Разведка дроном: особенности первого российского арктического беспилотника. 2023: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://strana-rosatom.ru/2023/04/06/razvedka-dronom-osobennosti-pervogo/> (дата обращения: 06.04.2023).
2. Алексеева Т. А., Фролов С. В., Сероветников С. С. Обзор методов и основных результатов измерения толщины морского льда в Арктике. // *Российская Арктика*. 2021. № 12. С. 33—49. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-1-33-49.
3. Смирнова В. Г. Спутниковые методы определения характеристик ледяного покрова морей. Санкт-Петербург: ГНЦ РФ ААНИИ. 2011. 240 с.
4. Benjamin Holt, Pannirselvam Kanagaratnam, Siva Prasad Gogineni et al. Sea ice thickness measurements by ultrawideband penetrating radar: First results. // *Cold Regions Science and Technology*. 2009. Vol. 55 P. 33—46.
5. Богородский В. В., Оганесян А. Г. Автоматизация радиолокационного измерения толщины морских льдов. // *Журнал Технической Физики*. 1987. Том 57. Выпуск 8. С. 1649—1653.
6. Ничипоренко Н. Т., Сиваченко Б. Н., Зеркаль А. Д. Измерение толщины льда на акватории морского порта с помощью прибора «Пикор-лед» // *Вестник Государственного Университета Морского и Речного Флота имени адмирала С. О. Макарова*. 2020. 12.3. С. 576—582. DOI:10.21821/2309-5180-2020-12-3-576-582.
7. Schmid L., Heilig A., Mitterer C. et al. Continuous snowpack monitoring using upward-looking ground-penetrating radar technology. // *Journal of Glaciology* 2014. Vol. 60. No. 221. P. 509—525. doi: 10.3189/2014JoG13J084

References

1. Drone reconnaissance: features of the first Russian Arctic drone. 2023: [Electronic resource]. Access mode: <https://strana-rosatom.ru/2023/04/06/razvedka-dronom-osobennosti-pervogo/> (date of access: 04/06/2023).
2. Alekseeva T. A., Frolov S. V., Serovetnikov S. S. Review of methods and main results of measurement of sea ice thickness in the Arctic. *Rossiyskaya Arktika = Russian Arctic*. 2021; (12): 33—49. (In Russ.). DOI: 10.24412/2658-4255-2021-1-33-49.
3. Smirnova V. G. *Sputnikovyye metody opredeleniya kharakteristik ledyanogo pokrova morey = Satellite methods for determining the characteristics of the ice cover of the seas*. St. Petersburg: Arctic and Antarctic Scientific Research Institute Goskomgidrometa SSSR. 2011: 240 p. (In Russ.).
4. Benjamin Holt, Pannirselvam Kanagaratnam, Siva Prasad Gogineni et al. Sea ice thickness measurements by ultrawideband penetrating radar: First results. *Cold Regions Science and Technology*. 2009; Vol. 55 P. 33—46.
5. Bogorodsky V. V., Oganessian A. G. Automation of radar measurement of sea ice thickness. *Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki = Journal of technical physics*. 1987; 57(8): 1649—1653 (In Russ.).

6. Nichiporenko N. T., Sivachenko B. N., Zerkal A. D. Measurement of the ice thickness in the seaport water area using the Picor-Ice instrument. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rečnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* = Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarova. 2020; 12(3): 576—582. doi:10.21821/2309-5180-2020-12-3-576-582. (In Russ.).
7. Schmid L., Heilig A., Mitterer C. et al. Continuous snowpack monitoring using upward-looking ground-penetrating radar technology. *Journal of Glaciology* 2014. Vol. 60. No. 221. P. 509-525. doi: 10.3189/2014JoG13J08.

Информация об авторе

Цепелев Валерий Юрьевич, кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологических прогнозов РГГМУ, v0010200@mail.ru.

Статья поступила 18.05.2023

Принята в печать 28.05.2023

The article was received on 18.05.2023

The article was accepted 28.05.2023