

М.П. Федоров, Л.Л. Федорова, А.В. Омеляненко

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ РЕЧНОГО ЛЬДА МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Рассмотрены возможности дистанционного определения участков торошения льда, препятствующие нормальному прохождению весеннего паводка на северных реках. Представлены данные георадиолокационной съемки ледовой обстановки на р. Олекма с борта вертолета МИ-8. Показано, что по комплексу динамических признаков и статистических показателей георадиолокационной съемки можно оперативно и достоверно выделять не только видимые с воздуха, но и скрытые под снегом, зоны торошения и подобные им участки с напряженно-деформированным состоянием речного льда. Информация о местоположении таких потенциально опасных участков способствует разработке оперативных реалистичных прогнозов развития обстановки на реках во время весеннего ледохода.

Ключевые слова – георадиолокация, толщина речного льда, структура речного льда, монолитный лед, торосистый лед, ледовый затор.

Введение

Значительный подъем уровня воды при формировании заторов льда во время весенних паводков на реках приводит к наводнениям. Несмотря на то, что заторные наводнения кратковременны, причиняемый ими ущерб исчисляется многими миллиардами рублей. Для предотвращения этого природного явления существуют разные методы и способы. Один из них – ледовая разведка, осуществляемая дистанционно методом георадиолокационного зондирования с борта самолета или вертолета. Такая разведка уже, давно и широко применяется в зарубежной и отечественной практике для изучения материковых и океанических ледяных покровов [1–3].

В Республике Саха (Якутия) ледовая разведка на реках начала применяться с 2003 г. в рамках совместных научно-производственных работ, проводимых до нынешнего времени ГУ МЧС России по РС(Я), ГКУ Служба спасения РС(Я) и ИГДС СО РАН. По результатам этих работ было установлено, что с помощью ледовой разведки можно с необходимой достоверностью и точно-

стью получать оперативную информацию о толщине и структуре ледяного покрова на реках и заранее выявлять места, потенциально опасные для образования заторов [4].

Структура ледяного покрова рек Якутии и самой крупной из них р. Лены, генетически связано с гидрологическим характером бассейна водосбора, а также его гидрогеологическими и тектоническими особенностями. Все это определяет условия и особенности льдообразования на реках. В период ледостава на некоторых участках акватории р. Лены создаются условия, способствующие формированию ледяного напряженно-деформированного покрова, состоящего из хаотически смерзшихся кусков раздробленного льда и шуги. Такие льды принято называть торосами. В зависимости от температуры воздуха и количества снега, толщина торосистых льдов на р. Лене может достигать 2,5–3,0 м [5].

Как показывает практика, несмотря на меньшую механическую прочность в сравнении со льдами, образовавшимися в стабильных гидрологических условиях, торосистые льды вместе с

припайным льдом (примерзшим к поверхности речного дна) разрушаются медленнее в период весеннего половодья [6]. Поэтому в большинстве случаев они являются естественными препятствиями (заторами) для прохождения водного потока и причиной стремительного подъема уровня воды в реках, т.е. наводнений.

Результаты георадиолокационной съемки речного льда в районе р. Олекмы

В настоящей статье рассматриваются частные результаты, полученные по материалам воздушной ледовой разведки, проведенной методом георадиолокации в феврале на р. Олекма. Основное направление исследований – разработка методики георадиолокационной съемки и интерпретации данных, а также решение задачи определения структуры речного льда.

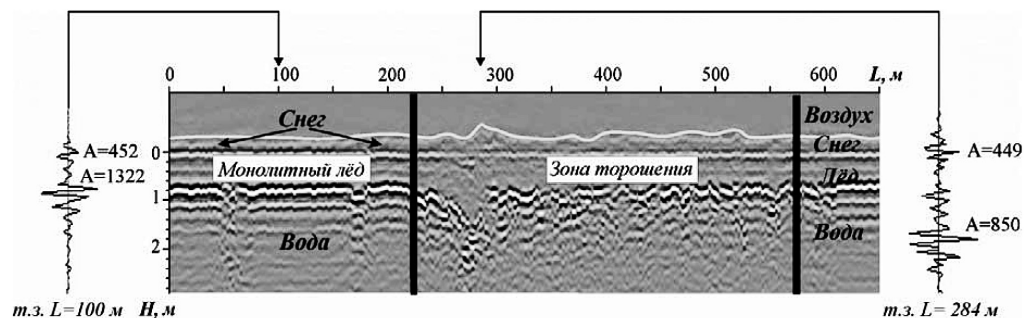
Воздушная съемка речных льдов осуществлялась отечественным георадаром «ОКО-М1» с антенным блоком АБ-400М, который был закреплен к вертолету «МИ-8» на подвеске длиной 0,3 м. Полет происходил на высоте 20–30 м со скоростью 20–30 км/ч. Во время полевых измерений использовались следующие параметры работы аппаратуры: центральная частота 400 МГц, временной интервал записи 300 нс, число накоплений сигнала 4. Для получения представлений о толщине и структуре речного льда не-

прерывные измерения сигналов производились по фарватеру и в береговой зоне реки. Траектории полетов нанесены на лоции в соответствии с визуальной топографической привязкой. Каждый траверс автоматически отображался во время полета в виде радарограмм фазовых задержек электромагнитных импульсов или толщины речного льда. Всего было изучено три участка реки общей протяженностью 16 км.

Обработка полевых данных включает в себя этапы: ввод данных в программу «GeoScan32» [7], учет статических сдвигов, редактирование трасс радарограммы, режекторная фильтрация, вычитание среднего и построение разреза с использованием пакета программ «GeoScan32», допускающей послойное задание значений вещественной части комплексной диэлектрической проницаемости природных сред, т.е. величины ϵ' .

В конкретном случае были заданы следующие значения величины ϵ' : для слоя воздуха – 1; для слоя пресного зимнего льда – 3,2; для слоя чистой пресной воды – 81.

В соответствии с заданными значениями, программа «GeoScan32» рассчитывает значения скорости распространения электромагнитных импульсов в отмеченных природных средах, а затем на радарограмме эти границы строятся в масштабе глубин. Фрагмент подобной радарограммы (рисунок),



Результат георадиолокационной съемки ледяного покрова на участке р. Олекма

Статистические показатели данных георадиолокации речного льда

Толщина монолитного льда		Толщина торосистого льда		Толщина монолитного льда	
Среднее значение	77	Среднее значение	83	Среднее значение	67
Дисперсия	45	Дисперсия	291	Дисперсия	45
Ср. квадр. отклонение	6,7	Ср. квадр. отклонение	17	Ср. квадр. отклонение	6,7
Коэфф. вариации	8,7	Коэфф. вариации	20,5	Коэфф. вариации	10

полученный в результате цифровой обработки сигналов (ЦОС), характеризует типичную картину волнового поля при переходе из области однородного речного льда в зону его торошения.

На радарограмме протяженностью около 650 м, отчетливо прослеживаются верхняя и нижняя граница слоя речного льда. В области монолитного льда наблюдается плавное изменение его толщины в пределах 0,7–1,0 м. По данным аэрофотосъемки и гидрологии на этом участке акватории р. Олекмы образовалась зона торошения льда из-за изменения уклона реки, сужения ее русла и присутствия острова. Протяженность зоны торошения составляет по данным георадиолокации 450 м. Ее границы отчетливо выделяются на радарограмме по увеличению мощности льда до 1,0–1,6 м и сильной изменчивости конфигурации границы лед – вода. Кроме этого, в зоне торошения льда осциллограммы сигналов имеют более сложную форму, а значит и спектральные характеристики.

Сравнительный анализ амплитуд (А) георадиолокационных сигналов обнаружил важные признаки энергетического и статистического распознавания зон торошения речных льдов. По совокупности трасс георадиолокацион-

ных сигналов удалось определить, что среднее удельное затухание амплитуды электромагнитных импульсов в торосистых льдах на 30–40% выше, чем в однородных льдах. К этому следует добавить еще один статистический показатель картирования границ областей торосистых льдов. В сравнении с однородными льдами они характеризуются существенно более высокими значениями дисперсии толщины (таблица).

Заключение

В результате используя комплекс динамических признаков георадиолокации и статистические показатели можно по данным ледовой разведки сравнительно просто и достоверно выделять не только видимые с воздуха, но и скрытые под снегом, зоны торошения и подобные им участки с напряженно-деформированным состоянием льда, препятствующим нормальному прохождению весеннего паводка.

Располагая информацией о местоположении таких потенциально опасных участков, службы МЧС могут заранее провести планомерные работы по их нейтрализации, разуплотняя и разрыхляя льды взрывом, резанием или затемнением поверхности угольной пылью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Финкельштейн М.И., Лазарев Э.И., Чижов А.Н. Радиолокационные аэроледомерные съемки рек и озер, водохранилищ. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 117 с.
2. Мачерет Ю.Я. Радиозондирование ледников. – М.: Научный мир, 2006. – 392 с.
3. Йохансен О.М., Александров В.Ю., Фролов И.Е., Сандвен С., Петерсон Л.Х., Бобылев Л.П., Клостер К., Смирнов В.Г., Миронов Е.У., Бабич Н.Г. Научные исследова-

ния в Арктике. Т.3. Дистанционное зондирование морских льдов на Северном морском пути: изучение и применение. – СПб.: Наука, 2007. – 512 с.

4. Омеляненко А.В., Федорова Л.Л., Федоров М.П. Георадиолокационная технология дистанционного мониторинга состояния ледяного покрова северных рек с борта летательного аппарата / Сборник докладов Общероссийской научно-практической кон-

ференции «Защита населения и объектов от водной стихии северных рек», г. Якутск, 28–29 июня 2013 г. – Якутск, 2013. – С. 106–109.

5. Файко Л.И. Ледяной покров и способы управления его режимом. – Новосибирск: Изд-во Наука СО РАН, 1975. – 138 с.

6. Электрофизические и физико-механические свойства льда. Сборник статей. / Под ред. В.В. Богородского и В.П. Гаврило. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 256 с.

7. Руководство пользователя программой GeoScan32. – Режим доступа: <http://logsys.ru/download/new/geoscan32manual.pdf> **ИИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Федоров Максим Петрович – ведущий инженер, e-mail: mpfedoroff@gmail.com, Федорова Лариса Луквична – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, e-mail: Lar-fed-90@rambler.ru, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения РАН; Омеляненко Александр Васильевич – доктор технических наук, главный научный сотрудник, e-mail: omeravel@yandex.ru, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения РАН.

UDC 550.837.76:(551.322:539)

INVESTIGATION OF THE STRUCTURE OF RIVER ICE BY GPR

Fedorov M.P., Leading Engineer, e-mail: mpfedoroff@gmail.com, Fedorova L.L., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Senior Researcher, e-mail: Lar-fed-90@rambler.ru, Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences; Omelyanenko A.V., Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, e-mail: omeravel@yandex.ru, Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences.

The remote definition possibilities of ice hummocking sites, which interfere with normal passing of spring flood on the northern rivers, are considered. GPR shooting data of an ice situation on the Olyokma River are submitted from MI-8 helicopter board. GPR data analysis showed that the average specific attenuation of the amplitude of electromagnetic pulses in hummocky ice is 30–40% higher than in homogeneous ice. But areas of hummocky ice in comparison with homogeneous ice are characterized by significantly higher values of thickness variance. It is shown that by the complex of dynamic features and statistical indicators of GPR survey, we can quickly and accurately allocate zones ridging, not only visible from the air, but also hidden under the snow and similar areas with the stress-strain state of river ice. Information about location of such potentially dangerous sites promotes development of operational, realistic forecasts of situation development on the rivers during spring ice drift.

Key words: GPR, river ice thickness, the structure of river ice, solid ice, hummocked ice, ice jams.

REFERENCES

1. Finkel'shtein M.I., Lazarev E.I., Chizhov A.N. *Radiolokatsionnyye aeroledomnyye s'emki rek i ozer, vodokhranilishch* (Radar aeroledomny survey of rivers and lakes, reservoirs), Leningrad, Gidrometeoizdat, 1984, 117 p.
2. Macheret Yu.Ya. *Radiozondirovanie lednikov* (Radiosounding glaciers), Moscow, Nauchnyi mir, 2006, 392 p.
3. Iokhansen O.M., Aleksandrov V.Yu., Frolov I.E., Sandven S., Peterson L.Kh., Bobylev L.P., Kloster K., Smirnov V.G., Mironov E.U., Babich N.G. *Nauchnye issledovaniya v Arktike. T.3. Distsionnoe zondirovanie morskikh l'dov na Severnom morskoy puti: izuchenie i primeneniye* (Scientific research in the Arctic. V.3. Remote sensing of sea ice in the Northern Sea Route: the study and application), Saint-Petersburg, Nauka, 2007, 512 p.
4. Omelyanenko A.V., Fedorova L.L., Fedorov M.P. *Sbornik dokladov Obshcherossiyskoi nauchno-prakticheskoy konferentsii «Zashchita naseleniya i ob'ektov ot vodnoy stikhii severnykh rek»*, g. Yakutsk, 28–29 iyunya 2013 (Collected papers of All-Russian scientific and practical conference «Protection of the population and objects from the waters of the northern rivers», Yakutsk, June 28–29, 2013), Yakutsk, 2013, pp. 106–109.
5. Faiko L.I. *Ledyanoy pokrov i sposoby upravleniya ego rezhimom* (Ice cover and ways to control its regime), Novosibirsk: Izd-vo Nauka SO RAN, 1975, 138 p.
6. *Elektrofizicheskie i fiziko-mekhanicheskie svoystva l'da. Sbornik statei*. Pod red. V.V. Bogorodskogo i V.P. Gavriilo (Electro-mechanical and physical properties of ice. Collection of articles. Bogorodskiy V.V., Gavriilo V.P. (Eds.)), Leningrad, Gidrometeoizdat, 1989, 256 p.
7. *Rukovodstvo pol'zovatelya programmoi GeoScan32* (User Manual GeoScan32. – Mode of access), available at: <http://logsys.ru/download/new/geoscan32manual.pdf>