

сдвигка. Эффект сдвигки объясняется различиями во влажности песчаных отложений сезоннопротаивающего слоя в талом и мерзлом состоянии, вследствие чего теплопроводность талых пород может заметно превышать таковую мерзлых пород.

Модельные расчеты показали, что при современных природных условиях за 100 лет (период моделирования) могло бы произойти промерзание отложений на глубину не меньше 40 м. Наблюдаемая мощность верхнего яруса ММП, однако, составляет лишь 16 м. Следовательно, подземные воды оказывают существенное влияние на формирование температурного режима межмерзлотного талика, скорее всего – вследствие теплоотдачи турбулизируемого водного потока.

Исследование выполнено при совместной финансовой поддержке РФФИ и Правительства РС(Я), проект №18-45-140029.

Литература:

1. Ефимов А.И. Незамерзающий пресный источник Улахан-Тарын в центральной Якутии // В сб.: Исследования вечной мерзлоты в Якутской республике. Вып. 3. М.: Изд-во АН СССР. 1952. С. 60-105.
2. Варламов С.П., Скачков Ю.Б., Скрыбин П.Н. Температурный режим грунтов мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии. Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН. 2002. 218 с.
3. Оленченко В.В., Гагарин Л.А., Христофоров И.И., Колесников А.Б., Ефремов В.С. Строение участка развития термосуффузионных процессов в пределах Бестяхской террасы реки Лены по геофизическим данным // Криосфера Земли. Т. XXI, №5. 2017. С. 16-26.
4. Балобаев В.Т. Геотермия мерзлой зоны литосферы Севера Азии. Новосибирск: Наука. Изд-во СО РАН. 1991. 194 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ SENTINEL-1 ДЛЯ ОЦЕНКИ НАЛЕДНОГО СТОКА В БАССЕЙНАХ РЕК ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

Тананаев Н.И., Гагарин Л.А.

*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск,
TananaevNI@mpi.ysn.ru*

Введение. Наледи подземных вод занимают важное место в ряду гидрологических объектов криолитозоны, осуществляя сезонное и годовое регулирование речного стока [1]. В горных районах основной источник их питания – воды сквозных таликов, фильтрующихся, как правило, по

тектоническим разломам, и воды промерзающих подрусловых таликов, разгружающиеся в долины рек под действием криогенного напора. Основная гидрологическая функция наледей – перехват базового стока зимней межени и его разгрузка в речную сеть в период таяния. Объем наледного регулирования стока соответствует общему объему наледей в бассейнах и составляет до 10-15% годового стока рек [2]. По потере объема между датами наблюдений оценивается средний наледный расход воды.

Прямые наблюдения за динамикой наледных массивов методом вешкования имеет удовлетворительную точность, и большинство расчетов объема наледей СССР выполнено этим методом. Он, однако, трудоемок и требует регулярного присутствия наблюдателя, вследствие чего получили распространение обобщенные эмпирические зависимости, связывающие объем наледей с их площадью в конце зимы [2]. Площадь наледных массивов достоверно определяется дистанционными методами: по материалам аэрофотосъемки (АФС), в том числе с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), а также по космическим снимкам в оптическом и тепловом диапазонах [3]. К недостаткам дистанционных методов относят невысокое пространственное разрешение спутниковых продуктов (MODIS) и съемок с БПЛА, недостаточное временное разрешение (Landsat 8 или Sentinel-2), затратность производства (АФС).

Радарные снимки – известная альтернатива дистанционным данным оптического диапазона [3], однако их использование также ограничивалось сложностью их интерпретации, а также ограниченной доступностью. В данной работе показан опыт использования радарных изображений спутников Sentinel-1 Европейского космического агентства (ЕКА) для определения площади наледей.

Материалы и методы. Радарные изображения спутников Sentinel-1 свободно распространяются через Copernicus Open Access Hub - графический интерфейс базы данных ЕКА [4]. В работе использованы радарные снимки, полученные в режиме Interferometric Wide Range (IW), с шириной полосы захвата 250 км, уровня обработки L1, в горизонтальной дальности, с приведенным пространственным разрешением 10 м. В состав снимка входят данные об амплитуде отраженного сигнала по двум поляризационным каналам: VV (vertical-vertical) и VH (vertical-horizontal).

Обработка изображений выполнялась в программе SNAP 6.0, и включала: (1) коррекцию орбитальных параметров; (2) радиометрическую калибровку; (3) введение поправок на рельеф; (4) приведение сигнала к абсолютной интенсивности σ в децибелах. По результатам обработки

синтезируется RGB-изображение с каналами (σ_{vH} ; σ_{vV} ; $|\sigma_{vH} - \sigma_{vV}|$). На таком изображении наледи в период таяния дешифрируются по насыщенному тёмно-синему тону, влагонасыщенный снег – по светло-голубому тону (рис. 1).

Площадь наледей F , м², определялась мануальным дешифрированием RGB-изображения, их объем W , млн м³ – по эмпирической степенной формуле Б.Л. Соколова [2]:

$$W = aF^b, (1)$$

где a и b – эмпирические коэффициенты, равные 0,96 и 1,094 соответственно [2–3]. Потеря объема наледей при таянии весной за межсъемочный период, отнесенная ко времени между съемками, характеризует средний расход наледного стока в выбранном речном бассейне.

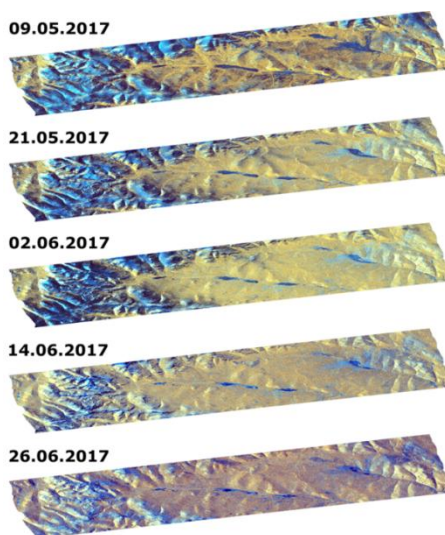


Рис. 1. Ситуационные фрагменты радарных снимков для бассейнов рр. Самокит и Верхняя Нерюнгра в 2017 г., данные КА Sentinel-1

Результаты. Суммарная площадь наледей на момент их максимального развития, в начале мая 2017 г., составила 8,145 км². Определенный по формуле (1) объем наледей в бассейне р. Самокит – 10,2 млн м³, в бассейне р. Верхняя Нерюнгра – 19,0 млн м³, что составляет 13,3 % от нормы стока реки за период 2008-2016 г. Изменение площади наледей в период таяния зависит от морфологии долины и формы ледяного тела (рис. 2): распластанные наледи в долине Верхней Нерюнгры

быстрее теряют площадь, тогда как в стесненной долине Самокита площадь убывает равномерно и медленно.

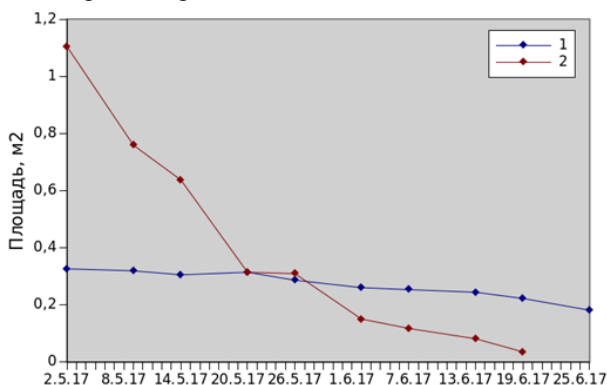


Рис. 2. Изменение площади наледей в период таяния 2017 г.: 1 – средняя наледь на р. Самокит; 2 – верхняя наледь на р. Верхняя Нерюнгра

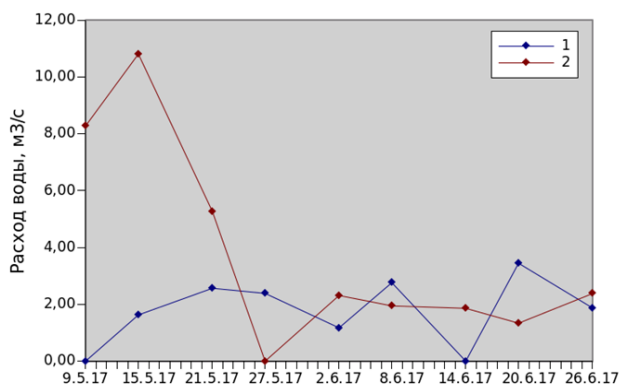


Рис. 3. Изменение наледного расхода воды в период таяния 2017 г.: 1 – р.Самокит; 2 – р. Верхняя Нерюнгра

Соответственным образом изменяется во времени и объем наледей; различия в морфологии долины приводят, теоретически, к завышению объемов распластанных наледей либо к занижению объемов стесненных наледей.

Средний за май-июнь наледный расход воды, рассчитанный по потере объемов, в бассейне р. Верхняя Нерюнгра составил $3,76 \pm 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$, в бассейне р. Самокит – $1,76 \pm 0,05 \text{ м}^3/\text{с}$; максимальный расход наблюдается в середине мая (Верхняя Нерюнгра) или середине июня (Самокит) (см.

рис. 3).

Дальнейшие исследования. Полученные результаты при использовании радарных данных для дешифрирования наледей показали удовлетворительную точность. Интерпретация получаемых изображений, тем не менее, остается субъективной. Продолжение исследований потребует решения нескольких важных вопросов: (1) разработка автоматических алгоритмов распознавания наледных явлений по данным об интенсивности сигнала в разных поляризациях; (2) полевая проверка результатов дешифрирования в разные сезоны (в отсутствии наледи, при наличии снежного покрова на наледных полянах, при течении воды по поверхности наледи); (3) объективная проверка объема наледей по эмпирическим формулам прямыми методами (расчет по вехам, фотограмметрия).

Литература:

1. Соколов Б.Л. Особенности гидрологии рек криолитозоны // В сб.: Водные ресурсы и водный баланс. Л.: Гидрометеиздат. 1988. С. 371–379.
2. Соколов Б.Л. Наледи и речной сток. Л.: Гидрометеиздат. 1975. 190 с.
3. Yoshikawa K., Hinzman L.D., Kane D.L. (2007) Spring and aufeis (icing) hydrology in Brooks Range, Alaska // J. Geophys. Res. Biogeosci. 112, G4S43.
4. Copernicus Open Access Hub: <https://scihub.copernicus.eu/>

ГИДРОХИМИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД И ЛЬДОВ СЕВЕРНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОСТРОВА КОТЕЛЬНЫЙ

**Торговкин Н.В.¹, Макаров В.Н.¹, Максимов Г.Т.¹,
Протопопов А.В.², Павлова Н.А.¹, Федоров А.Н.¹**

*1 – Институт мерзлотоведения им П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск,
nick1805torg@gmail.com*

2 – Академия наук Республики Саха (Якутия), г. Якутск

В работе представлены результаты гидрохимических исследований, проведенных во время экспедиции на северное побережье о. Котельный, в августе 2018 г. При изучении гидрохимических особенностей поверхностных вод и льдов, был применен комплекс современных аналитических методов. В отобранных водных пробах отмечены повышенные содержания отдельных микроэлементов относительно их фоновых значений. Изотопный состав льдов свидетельствует о разном времени их формирования.