

НАЛЕДИ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ НА ОСНОВЕ СНИМКОВ LANDSAT И ИСТОРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

О.М. МАКАРЬЕВА^{1,2,3}, А.Н. ШИХОВ⁴, А.А. ОСТАШОВ⁵, Н.В. НЕСТЕРОВА^{1,3,5}

¹Научная группа модели Гидрограф, Санкт-Петербург, 195176, Россия.
²Институт мерзлотоведения им. Мельникова СО РАН, Якутск, 677010, Россия.
³Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 199034, Россия.
⁴Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, 614990, Россия.
⁵Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, 199053, Россия

E-MAIL | OMAKARIEVA@GMAIL.COM

ВВЕДЕНИЕ

Наледи возникают в результате сложной взаимосвязи речных и подземных вод в условиях сурового климата и многолетнемерзлых грунтов. В настоящее время наледи остаются одним из самых плохо изученных объектов наземной гидросферы. В то же время они играют существенную роль в хозяйственном освоении районов Крайнего Севера, в частности отрицательно влияют на устойчивость инженерных сооружений, осложняют эксплуатацию ГТС и промышленных объектов. Запасы воды в наледях Северо-Востока России составляют не менее 50 км³. С 1958 г. когда были опубликованы Карта наледей Северо-Востока СССР (М 1:2 000 000) и Кадастр наледей, систематизированное обновление информации о них не проводилось. Таким образом, отклик наледей на произошедшие за этот период изменения климата остается не изученным.

ЗАДАЧИ

- Выполнить геопривязку и оцифровку исторических данных о наледях из Кадастра (1958 г.), а также с топографических карт.
- Адаптировать методику автоматизированного дешифрирования наледей по снимкам Landsat, провести дешифрирование по снимкам, полученным в мае-июне.
- Создать единую базу геоданных о наледях на основе Кадастра и спутниковых наблюдений.
- Сопоставить количество и площадь наледей по историческим и спутниковым данным.
- Провести анализ межгодовой изменчивости площади наиболее крупных наледей за период наличия.

ЦЕЛЬ

обновить Кадастр наледей Северо-Востока России с использованием снимков Landsat, а также создать электронный Каталог, содержащий сведения об историческом и современном состоянии наледей. Работа выполнена для бассейнов р. Индигирки (до ГМС Воронцово, S=309 тыс. км²) и Яны (до ст. Юбилейная, S=232 тыс. км²).

МЕТОДИКА ДЕШИФРИРОВАНИЯ НАЛЕДЕЙ ПО СНИМКАМ LANDSAT

Снежно-ледовые объекты легко идентифицируются по высоким значениям индекса NDSI (> 0,4)

$$NDSI = \frac{GREEN - SWIR1}{GREEN + SWIR1}$$

ПРОЦЕСС ИДЕНТИФИКАЦИИ НАЛЕДЕЙ ПО СНИМКАМ LANDSAT

1. Выделение снежно-ледовых объектов по пороговому значению NDSI, равному 0,4.
2. Создание маски воды по пороговым значениям NDWI (порог принят равным 0,3), и коэффициента отражения в ближнем ИК канале (порог принят равным 0,04).
3. Вырезание снежно-ледовых объектов по границам буферной зоны вокруг тальвегов (шириной 1,5 км).
4. Конвертация в вектор, расчет площадей и удаление объектов площадью менее 5 пикселей Landsat.

ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМА

– отделение льда от снега. Для этого использована дополнительная информация о тальвегах, выделенных по ЦМР GMTED2010.

СООТНОШЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА И ПЛОЩАДИ НАЛЕДЕЙ ПО ДАННЫМ КАДАСТРА И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Источники данных	Совпадающие наледи (площадь км ²)		Не совпадающие наледи (площадь км ²)	
	Бассейн р. Индигирки	Бассейн р. Яны	Бассейн р. Индигирки	Бассейн р. Яны
Данные Кадастра (1958)	634 (1905,0)	268 (616,4)	262 (158,6)	117 (122,2)
Данные Landsat	611 (1037,0)	262 (319,6)	602 (250,4)	321 (106,4)

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

КАРТА И КАДАСТР НАЛЕДЕЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА СССР (СИМАКОВ, ШИЛЬНИКОВСКАЯ, 1958)

Кадастр содержит данные о 7448 наледях на территории бывшего СССР, в том числе для исследуемой территории - 1281 объект на общей площади 2082,2 км². Для 132 наледей данных о площади в Кадастре нет.

СПУТНИКОВЫЕ ДАННЫЕ

Снимки Landsat-8

за 2013-2017 гг., полученные с веб-сервиса USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Всего обработано 36 снимков, покрывающих бассейны рек Индигирки и Яны. Даты съемки - от 15 мая до 18 июня.

Цифровая модель рельефа GMTED-2010

(пространственное разрешение 250 м, источник - USGS).

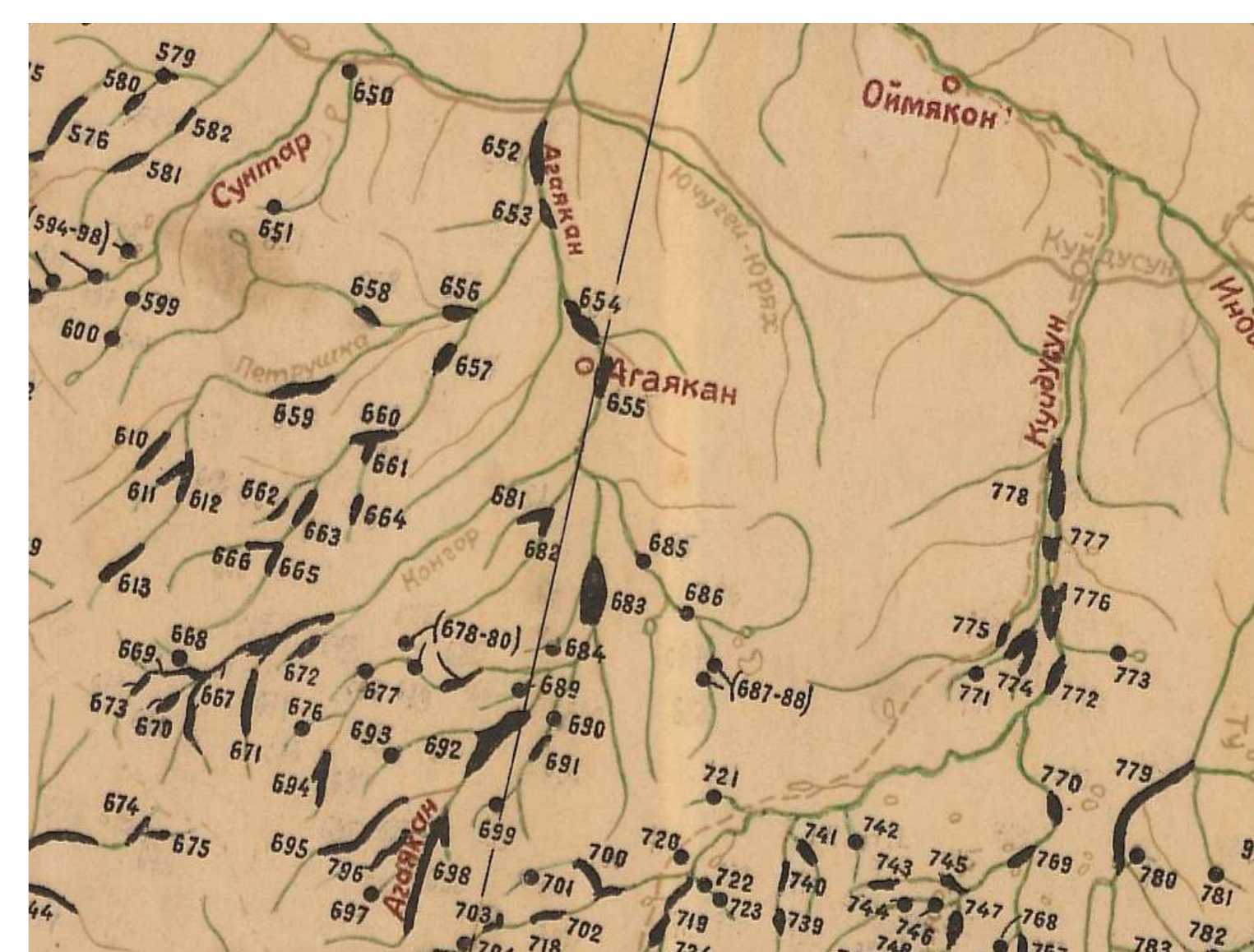


Рис. 1. Пример части Листа 7 Карты наледей Северо-Востока СССР (верховья р. Индигирки)

СОПОСТАВЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ НАЛЕДЕЙ НА ОСНОВЕ СНИМКОВ LANDSAT И ИСТОРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

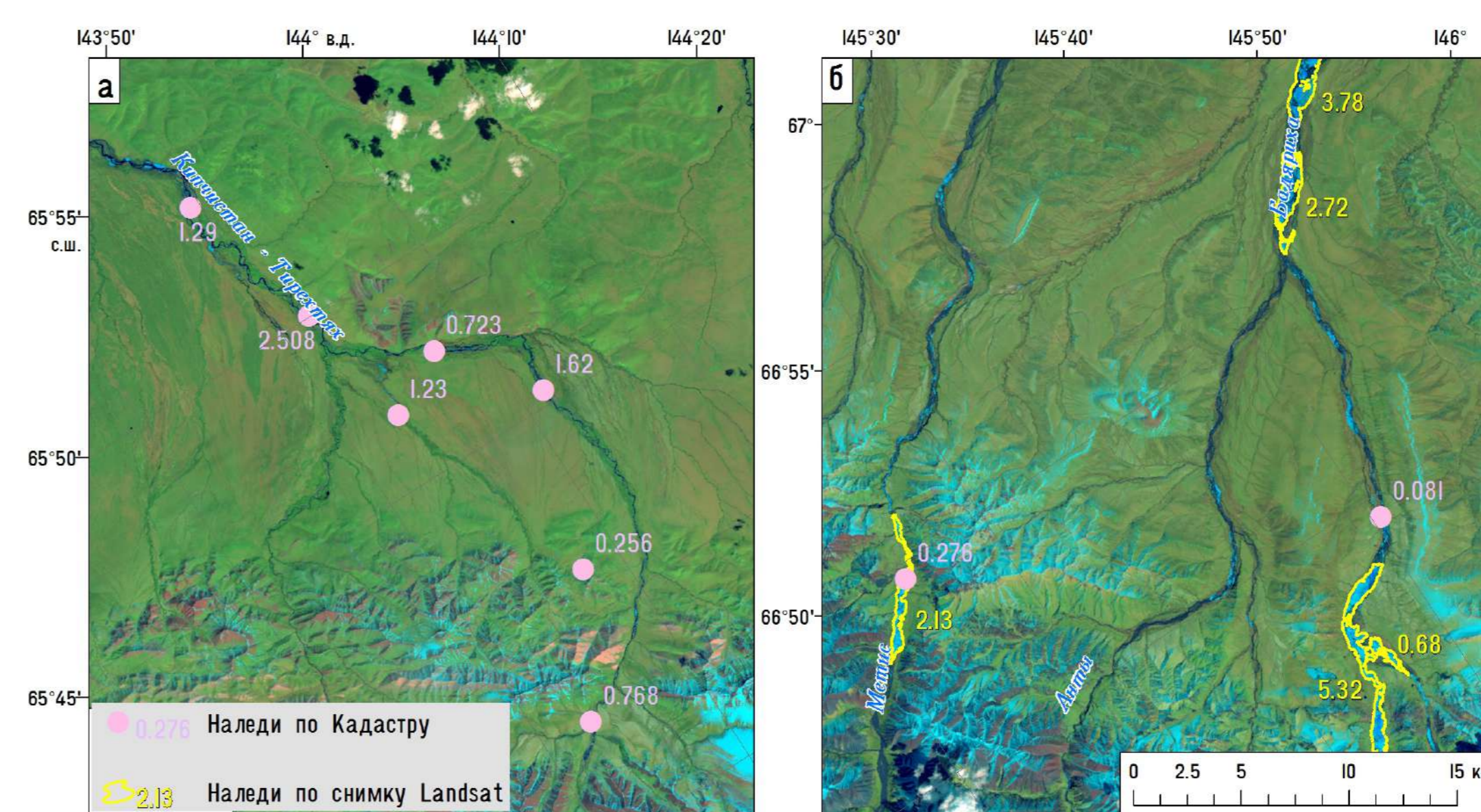


Рис. 2. Расхождения между положением наледей по данным Кадастра и по спутниковым данным:

а) отсутствие наледей на снимке при их наличии в Кадастре;

б) отсутствие (или занижение площади) наледей по Кадастру при их наличии на снимке.

РЕЗУЛЬТАТЫ

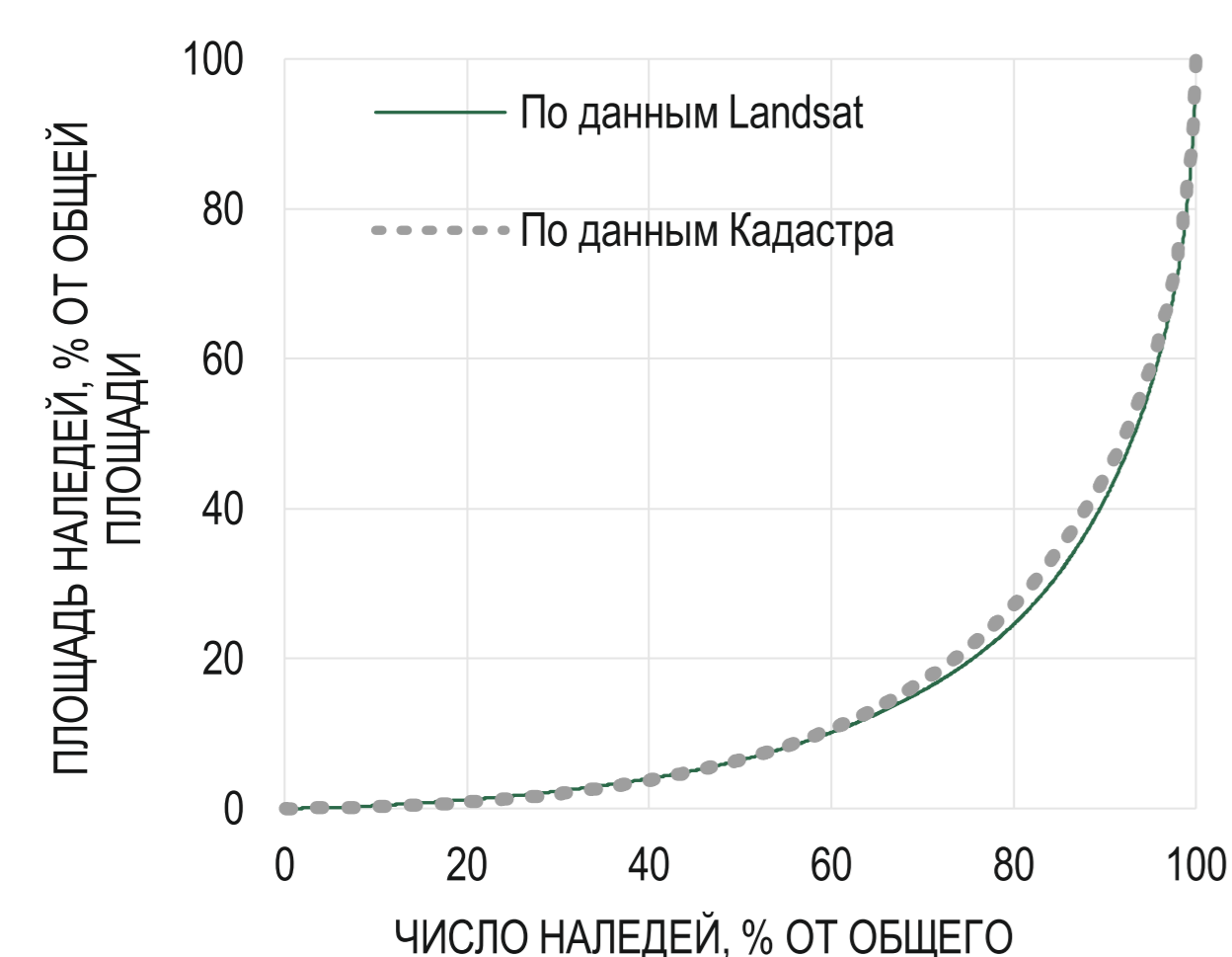


Рис. 4. Распределение наледей в бассейнах р. Индигирки и Яны по высотным зонам

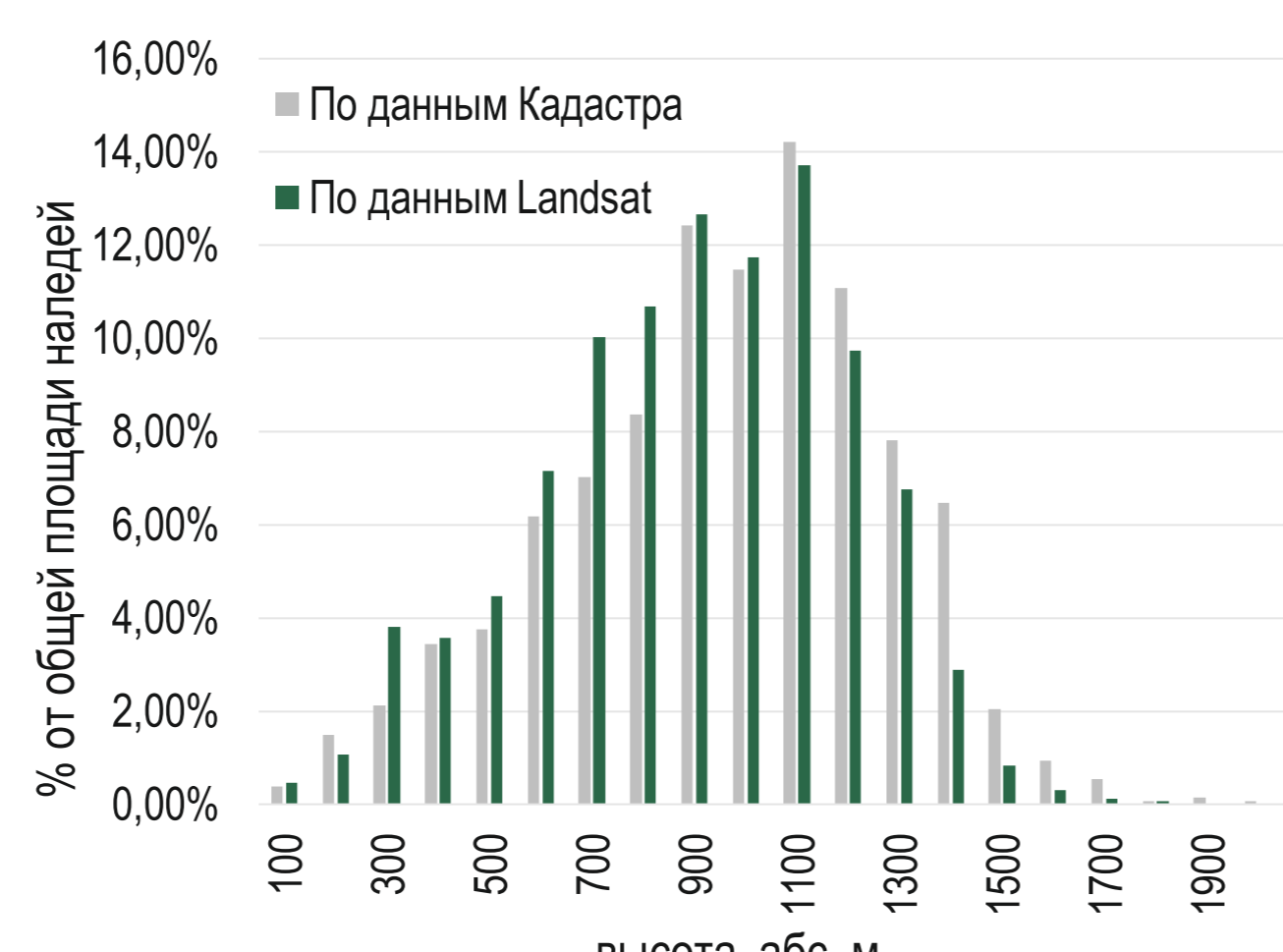


Рис. 3. Кривые Лоренца (распределение площади наледей по данным Кадастра и по спутниковым данным)



Рис. 5. Распределение площадей наледей: а) – по данным Кадастра, подтвержденных и не подтвержденных по снимкам Landsat, б) – по снимкам Landsat, подтвержденных и неподтвержденных по Кадастру

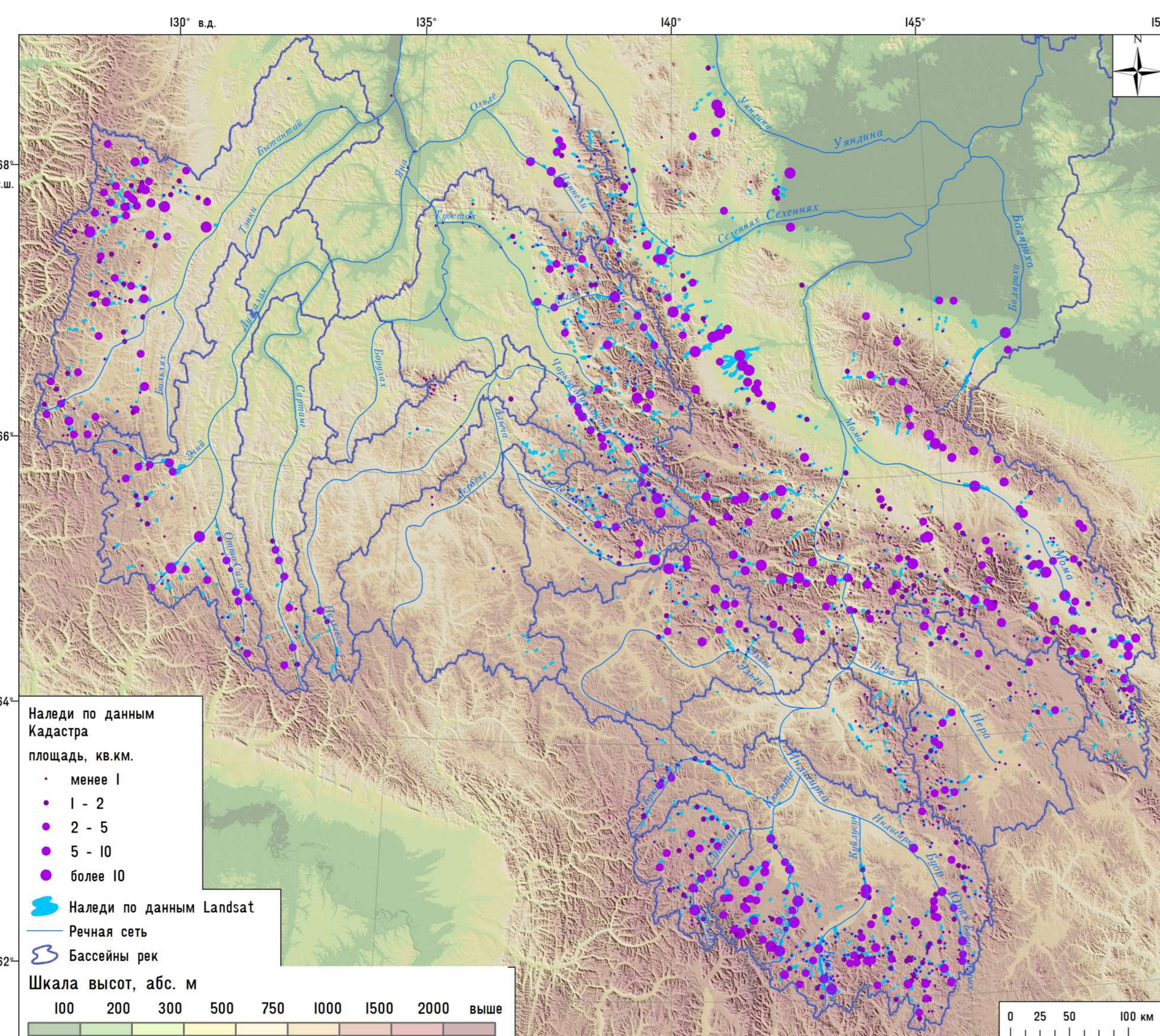


Рис. 6. Наледи в бассейнах р. Индигирки и Яны по данным Кадастра и космическим снимкам Landsat

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПЛОЩАДИ КРУПНЕЙШИХ НАЛЕДЕЙ (2001-2016 Г.Г.)

Большая Момская наледи		Наледи в бассейне р.Сюрюктях	
Дата съемки	Площадь наледи, км ²	Дата съемки	Площадь наледи, км ²
17.06.2002	29,2	26.06.2001	69,7
08.05.2005	66,2	29.06.2002	100,6
27.05.2006	57,9	04.06.2007	155,1
25.05.2011	61,7	17.06.2009	89,5
19.06.2009	39,5	22.06.2011	117,5
27.05.2012	49,6	21.05.2014	268
15.05.2013	48,1	18.06.2015	164,8
18.06.2017	21,9	04.06.2016	206,4

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ НАЛЕДНОСТЬ ПО РЕЧНЫМ БАССЕЙНАМ, %

Бассейн	Площадь, км ²	Наледность по Landsat	Наледность по Кадастру
Нера - пос.Ала-Чубук	22303,6	0,26	0,32
р.Адыча - г.п.Юрдюк-Кумах	98888,5	0,22	0,29
р.Чаркы - 3,5 км от устья	11335,0	0,30	0,37
р.Бытантай - пос. Асар	40538,4	0,27	0,73
р.Эльги - 5,0 км выше устья	21074,3	0,19	0,41
р.Дулгалаах - с.Томтор	23079,9	0,34	0,43
р.Сартанг - с.Бала	16735,0	0,08	0,14
р.Яна - г.Верхоянск	44635,3	0,21	0,28
р.Индигирка - ГМС Юрты	51447,8	0,79	1,14
р.Яна - п.ст.Юбилейная	232386,1	0,18	0,02
р.Индигирка - ГМС Воронцово	309086,2	0,42	0,42

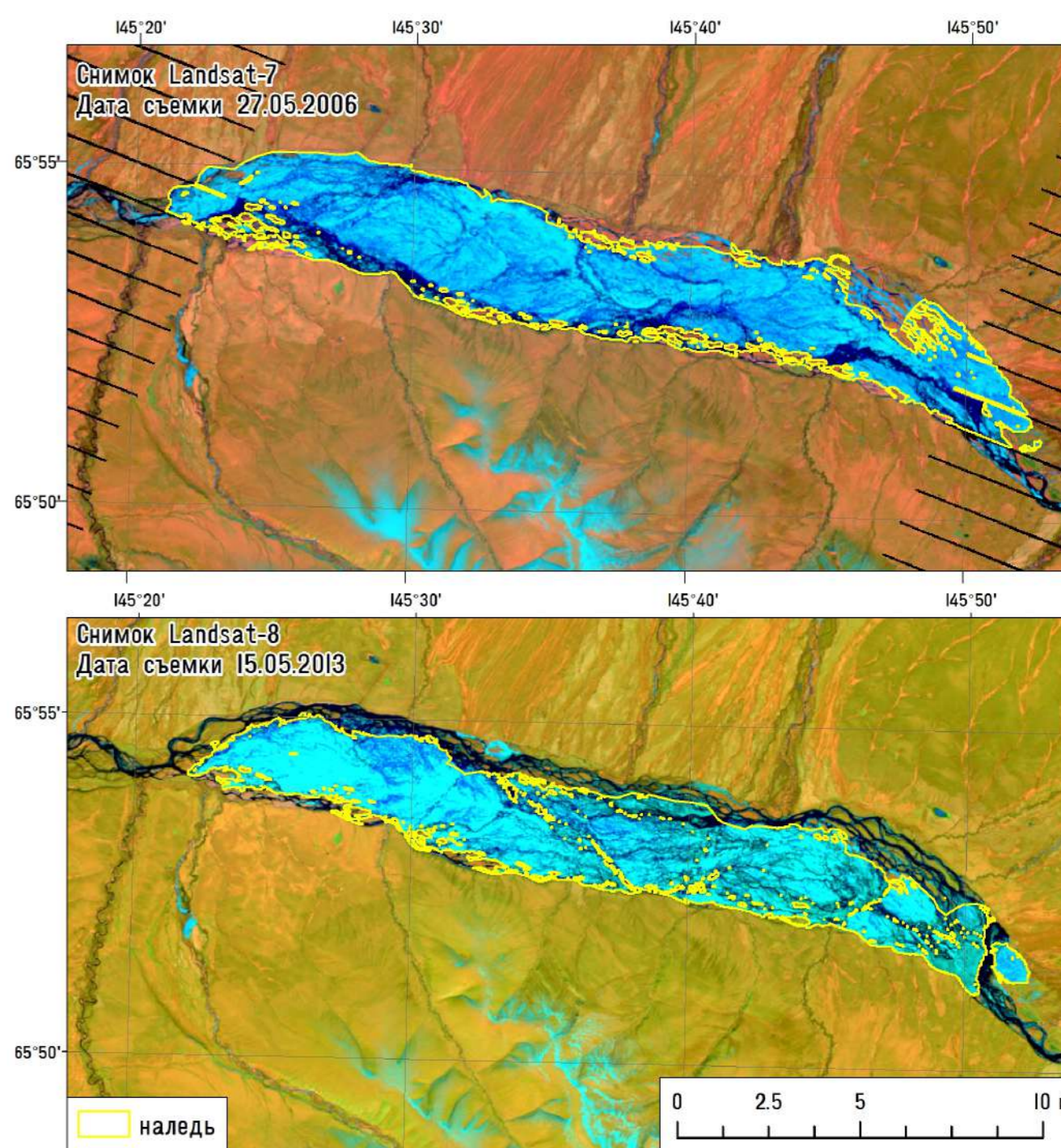
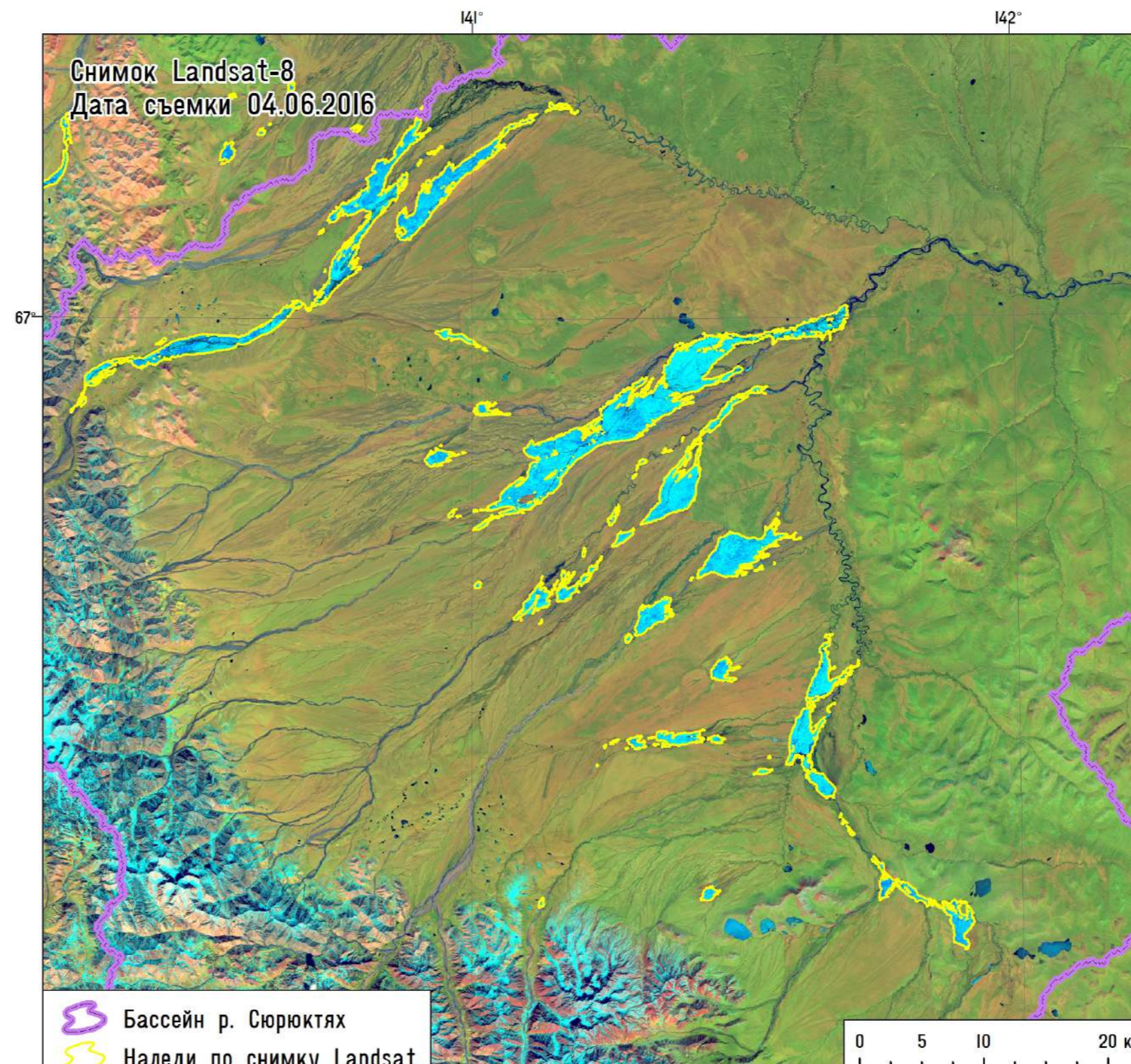


Рис. 7. Большая Момская наледи

Рис. 7. Наледи в бассейне р. Сюрюктях

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важнейшим полученным результатом является актуальная база геоданных о наледях в бассейнах р. Индигирки и Яны. База данных для бассейна Индигирки доступна на <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.891036>

Проведено сопоставление спутниковых данных и исторических данных для двух крупных наледей. Установлено, что современная площадь наледей оказалась в 1,6 раза меньше, чем по данным Кадастра; в то же время в Кадастре отсутствуют сведения о свыше 900 наледях, выявленных по снимкам. Это указывает на неполноту данных Кадастра, а также на существенное изменение условий образования наледей за последние полвека.

Целями дальнейших исследований будет:

- расширить базу геоданных о наледях на всю территорию Северо-Востока;
- установить, насколько изменения площади наледей обусловлены климатическими факторами, а также как они влияют на речной сток.