

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ

УДК 551.43

DOI: 10.17072/2079-7877-2020-2-6-23

**ДИСТАНЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛЕДНИКОВЫХ
И ВОДНО-ЛЕДНИКОВЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА В БАССЕЙНЕ Р. НАДЫМ
(СЕВЕР ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)****Олег Сергеевич Сизов**ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1509-8912>, Author ID: 602242,

Scopus ID: 56692800300

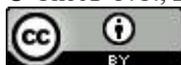
e-mail: kabanin@yandex.ru*Институт проблем нефти и газа РАН, Москва*

К настоящему времени накоплен значительный зарубежный опыт дистанционного картографирования форм ледникового и водно-ледникового рельефа (Канада, Великобритания, США и др.). Этому способствует появление различных глобальных наборов среднemasштабных пространственных данных (космических снимков и цифровых моделей рельефа), которые доступны широкому кругу исследователей. Для севера Западной Сибири подобные исследования особенно актуальны, поскольку сохраняется дискуссия относительно существования и масштабов плейстоценовых оледенений на данной территории. Результаты проведенных на основе цифровых моделей рельефа, мультиспектральных снимков и фондовых материалах геологической съемки работ позволили на примере бассейна р. Надым выявить устойчивые региональные индикационные признаки для таких форм, как камы, конечные морены, моренно-камовые всхолмления, линейно-ориентированные гряды, древние долины стока, озы и котловины выдувания на участках водно-ледниковых отложений. Проведенное по выявленным признакам картографирование показало широкое распространение и разнообразие ледниковых и водно-ледниковых форм рельефов на большей части рассматриваемой территории. Верификация результатов по архивным данным и полевым исследованиям 2016–2018 гг. подтвердила достоверность выявления камов, конечных морен и камовых всхолмлений, которые имеют типичное для данной территории геологическое строение. Полученные данные свидетельствуют о ведущей роли плейстоценовых покровных оледенений в формировании рельефа среднего и верхнего геоморфологического уровней. Разработанная методика среднemasштабного геоморфологического картографирования может быть применима и для других районов севера Западной Сибири.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, Западная Сибирь, ледниковый рельеф, покровное оледенение, цифровые модели местности.

**REMOTE MAPPING OF GLACIAL AND FLUVIOGLACIAL RELIEF
IN THE NADYM RIVER BASIN (NORTH OF WESTERN SIBERIA)****Oleg S. Sizov**ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1509-8912>, Author ID: 602242,

Scopus ID: 56692800300

e-mail: kabanin@yandex.ru*Institute of Oil and Gas Problems RAS, Moscow*

To date, there has been accumulated considerable foreign experience in remote mapping of glacial and water-glacial relief forms (Canada, Great Britain, USA, etc.). This is facilitated by the appearance of various global sets of medium-scale spatial data (satellite images and digital elevation models) available to a wide circle of researchers. Such studies are especially relevant for the north of Western Siberia, since there is still discussion about the existence and extent of the Pleistocene glaciations in this territory. The results of works conducted based on digital elevation models and multispectral images, as well as stock materials of geological surveys, made it possible to identify stable regional indicative signs for such forms as kames, terminal moraines, moraine-kame hills, linearly oriented ridges, ancient valleys of runoff, eskers, and deflation basins in areas of water-glacial deposits, which was done with regard to the Nadym River basin. Mapping carried out on the basis of the identified features has shown a wide distribution and diversity of glacial and water-glacial landforms in most of the considered territory. Verification on the basis of archival data and field studies of 2016-2018 confirmed the identification reliability of kames, terminal moraines and kame plateaus, which have a geological structure typical of the area. The results obtained indicate the leading role of the Pleistocene cover glaciations in the formation of the relief of the middle and upper geomorphological level. The developed technique of medium-scale geomorphological mapping can be applied to other regions of the north of Western Siberia.

Key words: digital elevation model, glacial relief, glaciation, remote sensing, Western Siberia.

Введение

Современные представления о процессе формирования рельефа северной части Западно-Сибирской равнины показывают, что на большей части территории покровные оледенения зырянского и сартанского времени отсутствовали [28]. Тем не менее сохраняют свою актуальность выводы о широком развитии форм рельефа самаровского и тазовского оледенений [16]. Подобные формы частично отмечены как на государственных геологических картах, так и на обзорных картах в обобщающих исследованиях [9]. Наряду с этим сохраняются приверженцы концепции, отрицающей наличие покровных оледенений и связывающей формирование рельефа севернее Сибирских Увалов с плейстоценовыми морскими трансгрессиями [12]. Различные точки зрения находят выражение при составлении (обновлении) различных геологических карт, что нередко создает трудности при проведении прикладных крупномасштабных почвенных, геоботанических, геокриологических и геоэкологических исследований.

Одним из научно обоснованных и наиболее широко используемых способов для выявления и картографирования форм ледникового и водно-ледникового рельефа является дешифрирование данных космической аэрофотосъемки [14]. Однако в связи с переходом на цифровые способы получения исходных данных дистанционного зондирования (ДЗЗ) и с появлением цифровых моделей рельефа/поверхности (ЦМР/ЦМП) как отдельного информационного источника, разработанные ранее методики дешифрирования нуждаются в модернизации. К настоящему времени накоплен значительный зарубежный опыт картографирования форм ледникового и водно-ледникового рельефов на основе современных типов данных ДЗЗ, включая мультиспектральную, радиолокационную и лидарную съемки (Канада, Великобритания, США и др.) [22; 25]. Для севера Западной Сибири, несмотря на наличие отдельных обзорных исследований [26], методика использования мультиспектральных снимков и особенно ЦМР/ЦМП проработана слабо, что во многом обусловлено отсутствием до недавнего времени в свободном доступе детальных исходных материалов регионального охвата.

Целью данной работы является картографирование ледниковых и водно-ледниковых форм рельефа в бассейне р.Надым на основе общедоступных мультиспектральных данных ДЗЗ

и ЦМП среднего и высокого разрешения путем выявления устойчивых и верифицируемых дистанционных признаков, учитывающих морфологические особенности покровных оледенений на севере Западной Сибири.

Территория исследований

Исследование проводится на примере бассейна р. Надым (нижнее и среднее течения), включая все основные притоки (реки Хейгияха, Ярудей, Правая и Левая Хетта). Территория характеризуется относительно хорошей транспортной доступностью благодаря наличию крупных рек и автомобильных дорог. Здесь расположены крупные нефтегазовые месторождения (Медвежье, Ямсовейское, Ярудейское), проходит большое количество магистральных газопроводов («Надым–Пунга», «Уренгой–Помары–Ужгород» и др.), активно строится Северный широтный ход («Салехард–Надым–Новый Уренгой»).

Вблизи устья р. Хейгияха (Лонгьюган) организован научно-исследовательский стационар Тюменского госуниверситета, который с 2016 г. является опорной базой для проведения радиальных выездов для детального изучения наиболее характерных геоморфологических участков с различными типами рельефа и верификации полученных результатов дешифрирования.

Территория находится на границе северо-таежной и лесотундровой природных зон (Надымская, Полуйская и Надым-Пурская ландшафтные провинции). Ландшафтное разнообразие складывается из сочетания пологонаклонных озерно-болотных массивов, осложненных процессами пучения, долинно-террасовых комплексов и залесенных возвышенностей с густой эрозионной сетью. Здесь представлены все геоморфологические уровни, традиционно выделяемые для севера Западной Сибири [13], абсолютные высоты меняются от 5 м над ур. м. (урез воды р. Надым в нижнем течении) до 120–130 м над ур. м. (отдельные холмы и гряды восточной части Полуйской возвышенности).

Впервые предположение о наличии следов крупного покровного оледенения в районе Сибирских Увалов сделал Б.Н. Городков, который в 1923–1924 гг. по поручению Русского географического общества изучал реки Аган и Пур [6]. Позднее М.М. Фрадкин [21] на водоразделе рек Тромеган (Торм-Яун) и Надым выделил моренные валунные суглинки, которые он назвал Надымской мореной второго, последовавшего за максимальным, оледенения.

Наиболее детальные работы в бассейне р. Надым проводились в 1953 г. экспедицией №7 ВСЕГЕИ при составлении первого поколения геологических карт масштаба 1:1000000 (В.И. Хлебников, В.С. Чекунова, А.И. Гройсман) [2–4]. В ходе многочисленных полевых и аэровизуальных наблюдений, а также в результате дешифрирования материалов аэрофотосъемки были установлены основные черты геологического строения территории и выявлены характерные ледниковые и водноледниковые формы рельефа (холмы, гряды, ложбины стока) предположительно зырянского оледенения. Работами ВНИГРИ в бассейне рек Пр. Хетта, Танлова и Бол. Хуху (Г.П. Евсеев, И.В. Рейнин, Б.Г. Федоров) в 1958 г. был подтвержден мореноподобный характер отложений крупных (высотой до 40 м) холмов и гряд на водораздельных равнинах, а также широкое развитие песчано-гравийных водно-ледниковых (зырянских) отложений [5]. При этом на отдельных крупных валунах отмечена ледниковая штриховка.

В дальнейшем на рассматриваемой территории проводились преимущественно локальные инженерно-геологические изыскания по поиску месторождений строительных материалов и определению участков для строительства объектов инфраструктуры (газопроводов, автодороги, промышленных и социально-бытовых объектов). Можно отметить, что многие выявленные участки перспективной и фактической добычи песка и гравия приурочены к грядам и холмам (например, Хайтарковская залежь на левобережьелевой Хетты) [15].

Геологические карты масштаба 1:1000000 второго и третьего поколений в районе среднего течения р. Надым составлялись преимущественно по результатам дешифрирования аэрофотосъемки и единичных полевых маршрутов вблизи существующих автодорог [7; 8]. Важно отметить, что стратиграфический подход, который использовался при составлении актуальных карт третьего поколения, не соответствует Унифицированной региональной стратиграфической схеме четвертичных отложений Западно-Сибирской равнины [20]. В частности, на геоморфологической схеме отсутствуют выявленные в ходе исследований предшественников формы ледникового и водно-ледникового рельефов.

Современные методы картирования ледниковых образований, широко использовавшиеся в ходе международного проекта QUEEN, позволили с высокой степенью достоверности установить границу зырянского оледенения севернее устья р. Надым в средней части полуостровов Ямал и Гыдан [28]. Детальные исследования в устье р. Хейгияха (Лонгъюган) подтвердили также отсутствие покровного оледенения в бассейне р. Надым в максимум последнего (сарганского) похолодания (МИС-2) [11].

Исходные данные ДЗЗ и ЦМП

При выборе данных для дистанционного геоморфологического анализа основными критериями являлись высокая точность и обеспеченность исходными материалами всей территории бассейна р. Надым. Доступность данных позволяет организовать научное обсуждение отдельных аспектов исследования с представителями различных концепций.

В качестве основного источника мультиспектральных данных ДЗЗ выбраны снимки с природно-ресурсных КА Sentinel-2 (ESA). В качестве базовых ЦМП выбраны модели ALOS World 3D-30m (AW3D30), ArcticDEM и WorldDEM, распространяемые Японским космическим агентством (JAXA), Агентством геопроостранственной разведки США (NGA) и Германским центром авиации и космонавтики (DLR) соответственно.

Данные ДЗЗ со спутников Sentinel-2 (A, B), на каждом из которых установлена 13-канальная аппаратура Multispectral Imager (MSI), имеют спектральный охват от голубого до ближнего ИК-диапазона и разрешение от 10 до 60 м (полоса захвата для всех каналов составляет около 290 м) [27].

ЦМП AW3D30 является закругленной до 1-й угловой секунды (~25–30 м) версией коммерческой модели World 3D Topographic Data, которая имеет исходное разрешение 5 м. AW3D30 создана на основе стереосъемки 2007–2011 гг. с помощью аппаратуры PRISM с разрешением 2,5 м, установленной на спутнике ALOS. Плановая точность модели составляет в среднем 4,4 м, абсолютная ошибка по высоте – 5,1 м, ошибки распределены равномерно по всей площади тестовых участков [29].

ЦМП ArcticDEM, покрывающая сушу севернее 60 с.ш., создана на основе автоматической обработки стереоданных со спутников WorldView-1,-2,-3. ArcticDEM предлагается в двух вариантах – в виде исходного результата автоматической стереообработки полного пролета спутника (размер пролета/стрипа 120*17 км, разрешение – 2 м) и в виде фрагментов (тайлов) мозаики, объединяющей лучшие из доступных стрипов (размер тайла 100*100 км, разрешение – 2 м). Абсолютная точность высотной информации тайлов мозаики без использования опорных точек составляет приблизительно 4 м в плане и по высоте 3 [24].

ЦМП WorldDEM является результатом глобальной интерферометрической съемки двух немецких радиолокационных спутников Terrasar-X и Tandem-X [30]. Оптимизированная технология одновременной съемки позволила достичь высоких показателей детальности итоговой ЦМП (разрешение ~12 м) и точности (2 м – относительная, 4 м – абсолютная). В рамках научного гранта от Германского центра авиации и космонавтики (DLR) получен продукт версии WorldDEM_{core} с разрешением 12 м и 26 м (заявка DEM_GEOL1378).

Для оценки возможности использования описанных выше ЦМП для дистанционного картографирования рельефа на рассматриваемой территории с относительно небольшими перепадами высот и наличием лесной растительности было проведено сравнение высотных профилей на примере тестового участка, который охватывает высотный диапазон от 10 до 65 м и более чем на 90% покрыт лесом (расчлененная морская равнина севернее устья р. Хейгияха). Базовые значения высоты получены с топографической карты масштаба 1:25000 с сечением горизонталей 2,5 м (издание 1974–1975 гг.). Результаты сравнения показали, что абсолютные высоты исходных моделей занижены на величину от 15,7 до 19,8 м относительно значений балтийской системы высот (БСВ). Это связано, по всей видимости, с особенностями измерений высот в БСВ, при которых не учитывается высота эллипсоида (отсчет ведется от одного реперного пункта методом нивелирования) и отсутствует внешний контроль (не определяется систематическая ошибка, вызванная неоднородностью кривизны поверхности Земли на локальных участках).

После устранения систематического расхождения среднее квадратическое отклонение составило от 1,4 до 2,1 м, корреляция высот колеблется в пределах 0,988–0,993. Минимальный выброс значений достигает –10,1 м, максимальный – 4,4 м, средняя сумма квадратов разностей (RSS) меньше всего у WorldDEM (33,6) и больше всего у ArcticDEM (50,7). Визуальное сравнение профилей (рис. 1) показывает, что все модели корректно отражают неровности рельефа и перепады высот, за исключением превышений до 8–10 м на густо залесенных участках и занижений до 3–4 м в долинах и ложбинах. Таким образом, любая из имеющихся ЦМП обеспечивает достоверность высотных значений в пределах величины сечения горизонталей топокарты масштаба 1:25000 (2,5 м) и может использоваться для среднемасштабного геоморфологического картографирования в условиях северо-таежной зоны Западной Сибири.

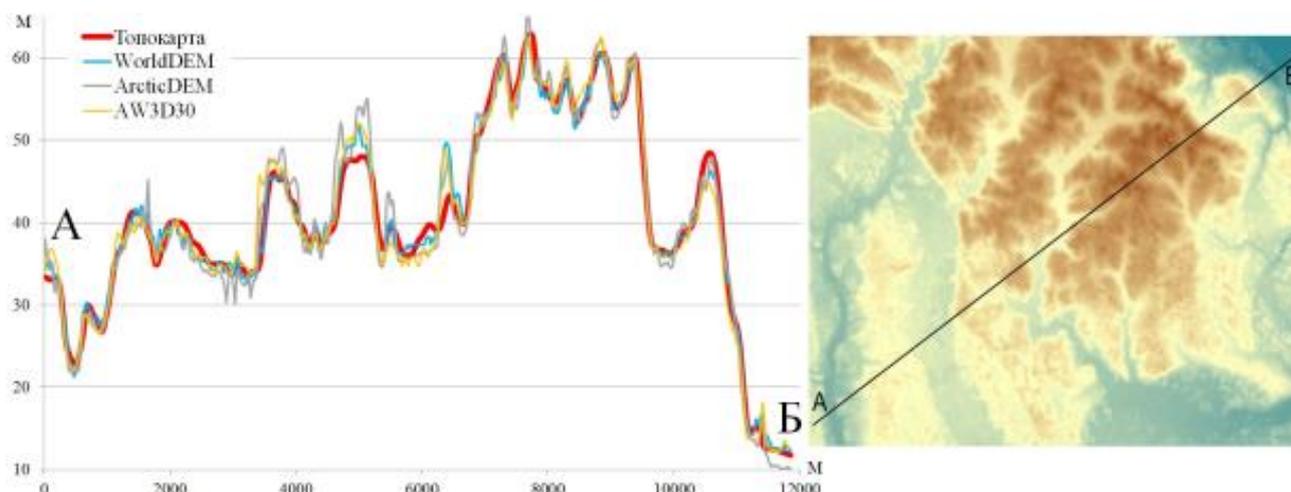


Рис. 1. Графики высотных значений топографической карты и различных ЦМП (после устранения систематического расхождения)

Fig. 1. Altitude values of the topographic map and various DEMs (after eliminating a systematic error)

Обработка исходных дистанционных данных

Предварительная обработка исходных данных включала:

- создание на основе безоблачных съемочных маршрутов от 18 июня и 7 июля 2016 г. 6-канальной (видимые, ближний и средний ИК-каналы) мозаики Sentinel-2 с общим разрешением 10 м;
- приведение отсчета исходных ЦМП к балтийской системе высот;

– создание единой мозаики из фрагментов AW3D30 и тайлов ArcticDEM с итоговым усредненным разрешением 20 м на весь бассейн р.Надым, создание мозаик с разрешением 12 и 26 м из имеющихся тайлов WorldDEM;

– приведение всех источников пространственных данных к единой системе координат (UTM, зона 42N на эллипсоиде WGS84).

В качестве эталонов дешифрирования были выбраны участки, отмеченные в отчетах ВСЕГЕИ и ВНИГРИ о проведении геологической и геоморфологической съемки масштаба 1:1000000 в бассейне р.Надым в 1953–1957 гг. [2–5]. Отчеты содержат подробные характеристики выявленных в ходе полевых работ форм рельефа, включая первичные данные об их геологическом строении и распространении (с привязкой к маршрутным точкам, номенклатурным листам топографической карты и основным природным объектам). Кроме того, в отчетах даны подробные геологические и геоморфологические карты, карты полевых маршрутов, а также фрагменты аэрофотосъемки с выделенными на полупрозрачных вклейках участками различных типов ледникового и водно-ледникового рельефов. Каждый лист имеющихся карт и фрагменты аэрофотосъемки преобразовывались в цифровой вид, к полученным растрам применялись улучшающие преобразования (коррекция гаммы, контраста и повышение резкости), после чего проводилась пространственная привязка в заданную систему координат на основе данных Sentinel-2.

Эталонами дешифрирования являлись также карты четвертичных образований масштаба 1:1000000 (второе и третье поколения) и 1:2500000. В первом случае карты в растровом виде с геопривязкой были получены с картографического портала ВСЕГЕИ, во втором случае карта использовалась в виде интернет-сервиса.

Все полученные дистанционные данные были сведены в единый ГИС-проект в программной среде ArcGIS. Дешифрирование выполнялось визуальным методом вследствие сложности формализации исходных форм рельефа. В большинстве случаев экспертный подход, несмотря на свою трудоемкость, дает более точные результаты по сравнению с морфометрическими и автоматизированными методами [23]. Для улучшения визуальных свойств изображения к исходным ЦМП была применена цветотеневая отмывка (высота Солнца над горизонтом 45°, азимут 45°) с адаптивной подстройкой гистограммы под видимый экстенд.

Дистанционные признаки ледникового и водно-ледникового рельефов

Систематизация форм ледникового и водно-ледникового рельефов, распространенных в бассейне р. Надым, была выполнена ранее в ходе геологической и геоморфологической съемки масштаба 1:1000000 в 1953–1957 гг., включавшей как полевые, так и дистанционные исследования на основе аэрофотосъемки [2–5]. По результатам геологосъемки установлено наличие камовых холмов и всхолмлений, конечно-моренных и озоподобных линейных гряд, ложбин стока, а также песчаных котловин выдувания, приуроченных к зандровым равнинам. Сопоставление и детальное сравнение фондовых материалов (отчетов, карт, аэрофотосъемки) с современными данными ДЗЗ и ЦМП позволили уточнить наиболее характерные индикационные признаки ледникового и водно-ледникового рельефа для рассматриваемой территории.

1. Типичные камы отмечены при геологосъемке на водоразделе рек Хейгияха и Лев. Хетта, рек Хейгияха и Полуй, рек Танлова и Прав. Хетта и др. [2–5]. Морфологически представлены в виде неправильно и даже беспорядочно расположенных холмов и увалов, относительная высота которых не превышает 10–20 м (рис. 2). Поверхность холмов платообразна, склоны полого-выпуклые с различной степенью крутизны. Холмы и увалы хорошо выделяются на ЦММ на фоне выровненной территории, зачастую они отделены друг от друга бессточными котловинами и ложбинами. Холмы располагаются на самых

возвышенных участках водоразделов и нередко формируют в плане группы или даже изогнутые цепочки, ориентированные с северо-востока на юго-запад либо с востока на запад. На мультиспектральных снимках наиболее возвышенным участкам холмов соответствуют зоны разреженной растительности. Нужно отметить, что сходными индикационными признаками обладают крупные бугры пучения (в т. ч. торфяно-минеральные полигенетические литопальза), которые также встречаются на заболоченных водоразделах. Основным условием разделения камов и бугров пучения является приуроченность бугров к хасыреям или низким речным террасам, границы которых в большинстве случаев хорошо выражены на ЦМП. Кроме того, бугры пучения встречаются единично и не образуют цепочек и гряд.

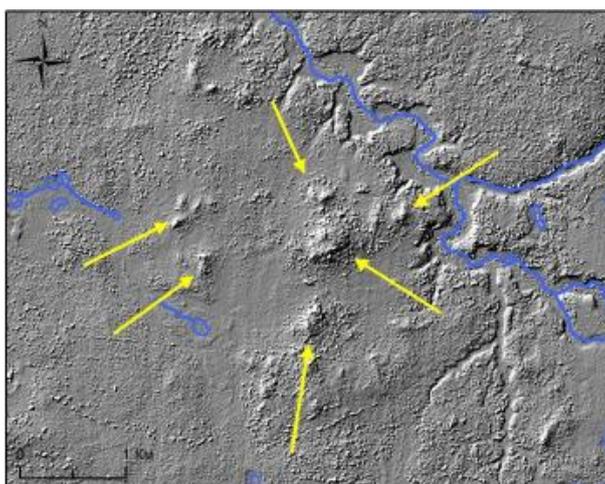


Рис. 2. Камовые холмы (показаны стрелками), правый приток р. Большой Хульмьёган, водораздел рек Надым и Полуй (ArcticDEM, 2018 г.)

Fig. 2. Kames (shown by arrows), right tributary of the Bolshoy Khulmyegan River, watershed of the Nadym and Poluy rivers (digital terrain model ArcticDEM, 2018)

2. Моренно-камовые всхолмления представляют собой локальные возвышенности размытых и слабо сохранившихся ледниково-аккумулятивных образований (камовых холмов и гряд) [3]. Они также приурочены к водоразделам, имеют достаточно устойчивые границы на ЦММ и отчетливо выделяются на плоской озерно-аллювиальной равнине за счет перепада относительных высот и повышенной степени горизонтального и вертикального расчленения. В пределах моренно-камовых всхолмлений могут встречаться отдельные камы и моренные гряды различной степени сохранности и выраженности. Характерной чертой подобных всхолмлений в бассейнах рек Прав. Хетта и Хейгияха является наличие небольших (высотой до 8–10 м и до 30–40 м в диаметре) холмов типа «каменных горок» (местный термин), на вершинах которых в результате выветривания скапливаются галька и валуны размеров до 0,5–0,6 м. На мультиспектральных снимках границы всхолмлений практически не выражены.

3. Конечные морены обнаружены в ходе геологосъемки в верховьях рек Надым и Лев. Хетта (рис. 3а) [3; 4]. Они также приурочены преимущественно к водоразделам и представляют собой узкие, извилистые в плане повышения (относительная высота до 5–7 м, изредка до 10 м). Конечные морены имеют различную степень сохранности и могут изменяться от высоких линейных поднятий с крутыми прямыми склонами до слабовыраженных гряд, простирающихся на 10–12 км. В силу различной морфологии для выявления конечных морен необходимо использовать ЦММ с различным разрешением. При высоком разрешении (2–10 м) хорошо читаются небольшие локальные краевые моренные образования, при среднем (25–30 м) – крупные формы с низкой степенью сохранности (рис. 3б).

Основными индикационными признаками являются протяженность и пространственное положение – плановый рисунок морен зачастую формирует логичную взаимосвязанную структуру, отражающую предельное положение ледникового покрова и стадийность его деградации. На мультиспектральных снимках моренные гряды, покрытые сосново-лишайниковым редколесьем, нередко маркируют природные границы крупных лесных и болотных массивов. Заметим, что в среднем течении р.Надым конечные морены имеют ограниченное распространение, основная область краевых образований отмечается южнее, в осевой зоне Сибирских увалов [7; 16].

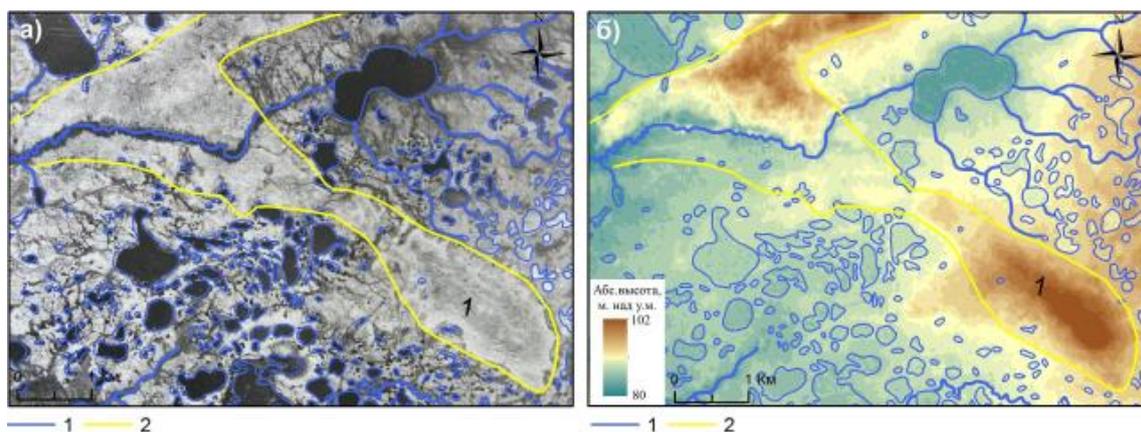


Рис. 3. Конечная морена (1), верховье правого притока реки Хараяха, в водоразделе рек Надым и Пур:
а – аэрофотосъемка, 1953 г., б – цифровая модель местности WorldDEM, 2016 г.: 1 – водные объекты; 2 – граница
Fig. 3. The terminal moraine (1), the upper reaches of the right tributary of the Kharayakh River,
the watershed of the Nadym and Pur rivers: а – aerial photography, 1953; б – digital terrain model WorldDEM, 2016:
1 – water bodies; 2 – limits

4. Линейно-грядовый рельеф – одна из наиболее характерных форм в районах покровных оледенений. В данном случае результатами геологосъемочных работ выявлены параллельные линейно-ориентированные гряды, нередко осложненные мерзлотными процессами и не связанные с современной гидросетью [2], которые хорошо дешифрируются на ЦММ и мультиспектральных снимках. В отличие от конечно-моренных гряд линейные гряды имеют меньший размер и простираются при более устойчивом ориентировании (практически не имеют изгибов). В частности, на левобережье р.Янгью подобные гряды шириной 1–2 км простираются в широтном направлении на 18–20 км. На водоразделе рек Хейгияха и Лев.Хетга линейные гряды вытянуты в северо-восточном направлении и представлены двумя участками, шириной 0,8 и 1,5 км каждый [4]. В случае слабой выраженности гряд в рельефе дополнительным признаком может служить линейная текстура изображения мультиспектральных снимков, формирующаяся за счет сходной ориентировки речных долин, цепочек мелких озер и границ лесных и болотных ландшафтов. Можно предположить ледниково-эрозионное происхождение гряд по механизму, сходному с образованием друмлиноидов, при этом классические друмлины на рассматриваемой территории не описаны в фондовых материалах и не прослеживаются на современных дистанционных данных.

5. Озы представляют собой покрытые сосновым редколесьем линейные повышения высотой 2–5 м и протяженностью до 3–5 км среди заболоченных равнин. По результатам геологосъемки отмечены на водоразделе рек Хейгияха и Полуй [4]. Расположение озв не связано с современной речной сетью, однако в ряде случаев конечные точки могут быть приурочены к моренно-камовым всхолмлениям. Нередко озы продолжаютя остатками древних долин стока. Основным дистанционным источником при дешифрировании озв являются мультиспектральные данные ДЗЗ. Синтез с ближним и средними ИК-каналами

позволяет достоверно выделить участки озов с разреженной хвойной растительностью в пределах озерно-болотных массивов, особенно во время смены сезонов года (апрель, май). Нередко поверхность озов осложнена небольшими раздувами, что свидетельствует о песчаном составе отложений.

6. Долины стока талых ледниковых вод с хорошо сохранившимися бортами и линейно-вытянутые цепочки озерных котловин являются широко распространенными формами водно-ледникового рельефа для бассейна р. Надым, особенно в среднем течении [3]. Долины стока, простираясь на десятки километров и зачастую пересекая современные долины рек под прямыми углами, уверенно дешифрируются по ЦМП и космическим снимкам. Долинообразные понижения имеют извилистую форму, напоминающую плавные излучины рек, и в настоящее время заболочены и заозерены (рис. 4). Сливаясь и разветвляясь, они формируют типичный рисунок гидрографической сети. Долины нередко связаны с предполагаемыми источниками стока, которые локализуются преимущественно в зонах ледниково-аккумулятивных образований на водоразделах, что позволяет во многих случаях реконструировать направление течения. Оканчиваются долины зачастую цепочками озер, хорошо видимыми на космических снимках. В качестве отдельного подтипа можно выделить линейные и дугообразные долины в зонах линейно-грядового рельефа, которые чередуются с относительно крупными грядами. Что касается обособленных цепочек озерных котловин, то они явно выделяются в пределах заболоченных озерно-аллювиальных равнин как на ЦМП, так и на мультиспектральных снимках. Ориентировка отдельных озерных котловин и их групп согласуется с направлением древних долин стока и практически не совпадает с современной речной сетью. В процессе дешифрирования древние долины стока и цепочки озерных котловин формируют логичную и непротиворечивую картину их распространения.

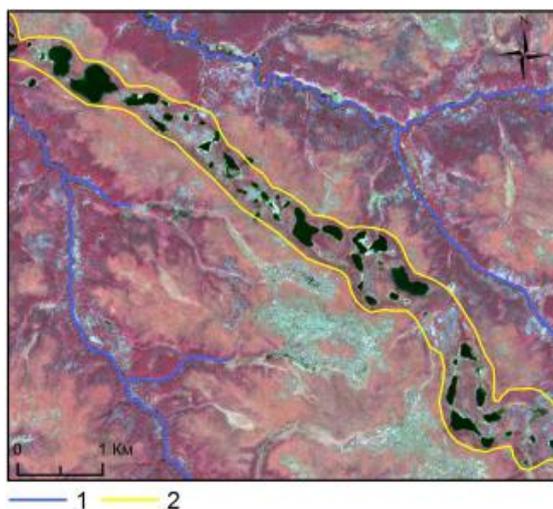


Рис. 4. Древняя долина стока талых ледниковых вод, междуречье левых притоков реки Хадыта, водораздел рек Прав. Хетта и Танлова (космический снимок Sentinel-2, 2016 г.): 1 – водные объекты; 2 – граница древней долины стока талых ледниковых вод

Fig. 4. Valley train on the interfluve of the left tributaries of the Haditta River, watershed of the Pravaya Khetta and Tanlova rivers (space image Sentinel-2, 2016): 1 – water bodies; 2 – limits of the valley train

7. Эоловые формы рельефа являются устойчивым парагенетическим признаком наличия ледниковых и водно-ледниковых отложений [18; 22]. В пределах рассматриваемой территории эоловый рельеф приурочен к различным геоморфологическим уровням: к моренно-камовым всхолмлениям на водоразделах (развеванию подвергаются участки зандровых равнин) (рис. 5), к поверхности озов на водно-ледниковой (озерно-аллювиальной) равнине и к выровненным террасам основных современных рек, сложенным частично перемытыми водно-ледниковыми отложениями (маркируя таким образом каналы основного стока талых ледниковых вод) [3; 5;

Физическая география, геоморфология и ландшафтоведение
Сизов О.С.

18]. Песчаные раздувы (котловины выдувания) в основном имеют размеры не более 1 км²), но в отдельных случаях, при смыкании соседних котловин, могут образовывать обширные песчаные арены площадью до 30 км². Дешифрирование оголенных песков основано на спектральных свойствах песчаной поверхности, которая хорошо контрастирует среди темных лесоболотных массивов. Элементы песчаного микрорельефа (параболические и обычные дюны, барханы, аккумулятивные вал и холмы) также хорошо выделяются на детальном ЦМП.

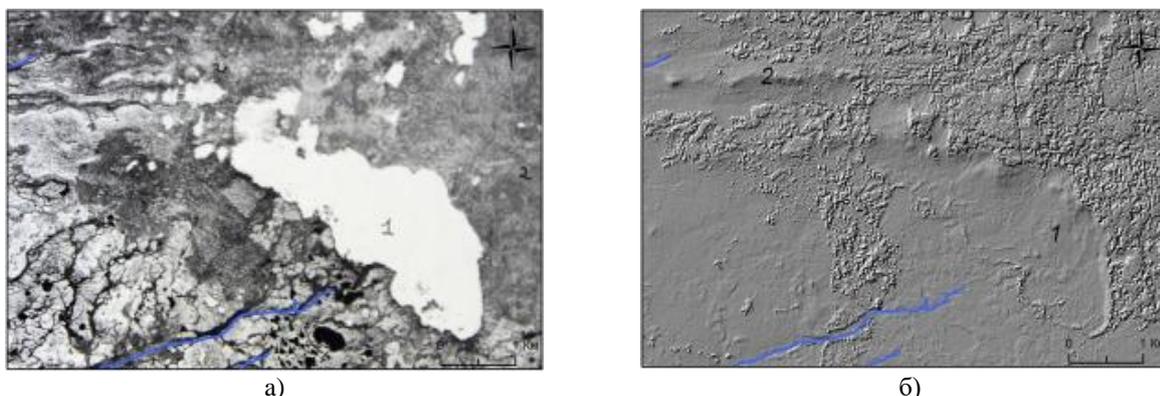


Рис. 5. Эоловый рельеф (1) и камовые гряды (2), верховье правых притоков реки Харлова, водораздел рек Надым и Левая Хетта: а – аэрофотосъемка, 1953 г., б – цифровая модель местности ArcticDEM, 2018 г.

Fig. 5. Eolian relief (1) and kames (2) in the upper reaches of the right tributaries of the Kharlova River, the watershed of the Nadym and the Left Hetta rivers: a – aerial photography, 1953, b – digital terrain model ArcticDEM, 2018

Результаты дистанционного картографирования

На основе описанных выше дистанционных признаков было выполнено картографирование форм ледникового и водно-ледникового рельефа на примере участка площадью 48000 км², границы которого проходят по водоразделу бассейна р. Надым и совпадают с границами геологических и геоморфологических карт из отчетов о геологической съемке [2–4]. Сводные результаты картографирования показаны в таблице и на рис. 6.

Результаты дистанционного картографирования форм ледникового и водно-ледникового рельефов в бассейне
р. Надым (среднее и нижнее течение)

Remote mapping of the glacial and fluvio-glacial relief forms in the basin of the Nadym River (middle and lower course)

<i>Форма рельефа</i>	<i>Количество выделенных объектов</i>	<i>Общая площадь/длина</i>
Камы/камовые гряды	84/6	–
Моренно-камовые всхолмления	27	1552 км ²
Конечные морены	81	530,8 км
Линейно-грядовый рельеф	7	116,7 км
Озы	20	75,7 км
Долины стока талых ледниковых вод	85	1133,5 км
Цепочки озер	21	169,1 км
Эоловые формы рельефа (котловины выдувания)	1290 (более 1 га)	230,5 км ²

На основе полученной карты рельефа можно отметить, что распространение форм ледникового и водно-ледникового рельефов в пределах рассматриваемого участка имеет две явные закономерности:

– все выделенные формы находятся южнее рек Ярудей и Правая Хетта, при этом в междуречье Ярудей и Хейгияхи (Лонгьюган) объекты встречаются единично, а в южной и западной частях разнообразие и плотность форм максимальны (водораздел рек Танлова и Правая Хетта, левобережье р. Надым в среднем течении);

Физическая география, геоморфология и ландшафтоведение
Сизов О.С.

– все выделенные формы фиксируются выше 40 м над ур. м. (балтийская система высот), за исключением песчаных раздувов на переотложенных флювиогляциальных песках в долине Надыма, при этом плотность объектов значительно увеличивается на водораздельных участках выше 70 м.

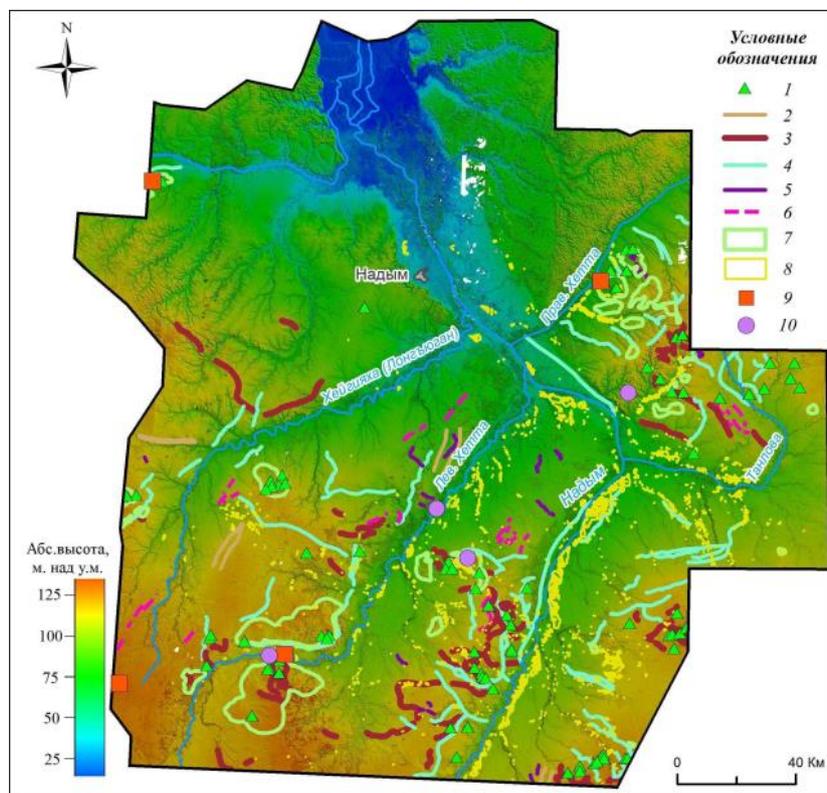


Рис. 6. Результаты дешифрирования форм ледникового и водно-ледникового рельефа в среднем течении р. Надым (подложка – синтезированная цифровая модель местности на основе AW3D30 и ArcticDEM с разрешением 20 м): 1 – камы и камообразные холмы; 2 – линейно-грядовый рельеф; 3 – конечные морены; 4 – ложбины стока талых ледниковых вод; 5 – озы; 6 – цепочки озер; 7 – камовые всхолмления; 8 – оголенные пески; 9 – участки верификации на основе полевых работ (2016–2018 гг.); 10 – участки верификации на основе фоновых источников

Fig. 6. Results of interpretation of glacial and fluvio-glacial relief in the middle course of the Nadym river (background image – synthesized digital terrain model based on AW3D30 and ArcticDEM, resolution 20 m): 1 – kames and kame-like hummocks; 2 – parallel ridges; 3 – moraines; 4 – valley trains; 5 – esker; 6 – lake trains; 7 – kame plateaus; 8 – bare sands; 9 – verification sites based on field work (2016–2018); 10 – verification sites based on geological reports

Особенность высотного распределения наглядно демонстрирует статистика по выделенным камовым холмам. Из 84 точечных объектов 51 (60%) находится выше 83 м, при этом 18 (21%) выделены в узком интервале 98–103 м. Ниже 73 м крупные объекты встречаются единично и имеют слабую морфологическую выраженность.

Наиболее крупные по площади моренно-камовые всхолмления (до 450 км²) выделяются в среднем течении р. Левая Хетта и на водоразделе рек Танлова и Правая Хетта. Они довольно отчетливо выражены на фоне озерно-болотных равнин, при этом осложнены отдельными камовыми холмами и грядами и имеют густую эрозионную сеть.

Уверенно дешифрируется сеть протяженных (более 530 км) камовых морен, маркирующих конечные стадии положения ледниковых массивов. Они имеют различное простираие (субширотное, северо-западное и др.), что может свидетельствовать об отсутствии единого направления движения покровного льда. Морены, как уже упоминалось, в

большинстве случаев приурочены к водоразделам, при этом они зачастую сопровождаются другими ледниковыми формами (камовыми холмами, оголенными песками, цепочками озер и др.). Нередко их целостность нарушается древними долинами стока ледниковых вод. По всей видимости, цепочки камовых холмов на водоразделе рек Танлова и Правая Хетта являются эрозионными останцами краевых моренных образований, т.е. морфологически занимают промежуточное положение между отдельными камами и моренами.

К единичным объектам относятся озы и линейные гряды (суммарная протяженность около 190 км). Слабая сохранность озв может объясняться их песчаным составом, что приводит к относительно быстрой эрозии и потере характерной формы. Линейно-грядовый рельеф также имеет видимые признаки эрозии (размыв, просадки) и в большинстве случаев прослеживается в виде специфической линейной ландшафтной текстуры. Более выражены гряды к западу от рассматриваемой территории в бассейне р. Полуй, однако их генезис достоверно не установлен и является предметом дальнейшего изучения.

Долины и ложбины стока талых ледниковых вод в сумме с цепочками озер имеют протяженность более 1300 км. Долины хорошо выражены в южной и восточной частях района исследований и практически не прослеживаются ниже 40 м над ур. м. Сеть долин практически не наследуется современными водотоками, которые могут располагаться как параллельно на небольшом удалении от древних долин, так и пересекать их под прямым углом. В то же время долины и ложбины древнего стока нередко топологически связаны как краевыми образованиями, так и с моренно-камовыми всхолмлениями (плато). Сохранность долин является одним из основных признаков отсутствия морской трансгрессии в среднем течении р. Надым со времени последнего для данной территории оледенения. Цепочки озер в южной части ориентированы в северо-восточном направлении и могут идентифицировать следы эрозионной деятельности покровного ледника в зоне максимальных скоростей движения.

Особенностью рассматриваемого района является широкое распространение форм эолового рельефа (особенно на первой и второй террасах р. Надым). Несмотря на то, что активное эоловое рельефообразование происходило в позднем плейстоцене и в засушливые периоды голоцена [10; 11; 18], т.е. в более поздние по отношению ко времени последнего оледенения периоды, участки оголенных песков на средних и низких геоморфологических уровнях достаточно точно идентифицирует районы накопления водно-ледниковых осадков в современных и древних долинах стока [18]. На высоких уровнях переветыванию подвергаются выровненные хорошо дренированные сухие задровые равнины в непосредственной близости от конечно-моренных гряд.

Обсуждение и верификация результатов

Для верификации проведенного дешифрирования использовались фондовые отчеты о геологической съемке [2–5; 7; 8; 15], а также результаты собственных полевых работ 2016–2018 гг., включающие определение абсолютного возраста различных типов отложений. Участки верификации показаны на рис. 6.

Основным натурным признаком ледникового генезиса четвертичных толщ на севере Западной Сибири является наличие обломочного материала – полуокатанной угловатой гальки, гравия и крупных валунов со следами ледниковой штриховки, которые принесены ледником с территорий, находящихся за пределами Западно-Сибирской равнины [10; 19]. К ледниковым отложениям на территории исследований относятся несортированные крупнозернистые пески с обилием галечникового материала, а также мореноподобные толщи комковатых глин, суглинков и глинистых песков с гравием и крупными валунами. Петрографический состав валунов и галек включает кварц, опал, песчаники, кварцевые порфиры, амфиболиты, гранитоиды, гнейсы, трахиты и др. [2–4]. При этом отмечается, что точное расположение коренных выходов данных пород на основе геологических маркеров

различных территорий установить не удалось. К водно-ледниковым отложениям относятся косослоистые хорошо промытые пески серого цвета, отличающиеся бедностью химического состава (доля SiO_2 составляет 94–97%) и также содержащие примеси гравия и гальки [2–4].

Характерные разрезы, показывающие соотношение указанных типов отложений, описаны в среднем течении р. Левая Хетта, которые на 20–25 м вскрывают строение наиболее крупного на рассматриваемой территории моренно-камового всхолмления. Так, на точке наблюдения (т.н.) 70 [3] с глубины 2,5 м прослеживается 20-метровая толща плотных комковатых суглинков с прослоями слюдистого песка (ширина прослоев до 25 см). Цвет суглинков буровато-красновато-коричневый, заметны мелкие блестки слюды, встречаются мелкие угловатые обломки, в т.ч. валунчик гранита размером до 25 см в диаметре. В правой части разреза выше по течению расчисткой выявлена толща светлосерых мелкозернистых песков, которая с глубины 15 м сменяется прослоем гравийно-галечникового материала. Осыпной склон завален суглинистой щебенкой, на бичевнике также отмечено скопление гравийно-галечникового материала.

Крупная морена описана на водоразделе рек Надым и Левая Хетта (т.н. 2368) [3]. Она имеет широтное простираие и возвышается над окружающей равниной на 25–30 м. Гребневая часть гряды выпуклая и состоит из отдельных вершин, разделенных седловинами. На поверхности гряды отмечено скопление гальки и гравия, гравелисто-галечниковый грубозернистый хорошо промытый песок прослеживается до глубины 1,2 м.

В нижнем течении р. Левая Хетта в месте пересечения рекой двух озоподобных гряд и небольшого камового всхолмления скважиной №18 [3] на глубине 1,8 м вскрыт гравийно-галечниковый горизонт мощностью 17,6 м. Размеры гальки от 0,5 до 3–4 см. Галька плохоокатана и состоит преимущественно из кварца и песчаника.

Широко распространены моренные гряды в верховьях р. Большой Хуху (правый приток Надыма). Гряды имеют северо-западное и северо-восточное направление, длина достигает 6–7 км, а относительная высота колеблется от 15 до 60 м. [2; 5]. Верхний слой гряд до глубины 1–2 м представлен моренными суглинками с обильным галечниковым материалом. Галька слабо и плохо окатана, размеры не превышают 2–4 см в диаметре. Петрографический состав в одном из обнажений (т.н. 367 [2]): кремни, глинистые сланцы, аркозовые песчаники, брекчии глинисто-кремнистых пород, лимонитизированная порода. Результаты ручного бурения отдельных небольших холмов [1; 5] показали, что сложены они мерзлыми льдистыми суглинисто-глинистыми отложениями, суммарная льдистость по визуальному определению составляет не менее 30%. В качестве примера можно привести скважину №10 [5], где на глубине 1,4–10,7 м вскрыта глина светло-серая с желтоватым оттенком, легкая, пористая, с прослоями алевритов, прослеживается волнистая и горизонтальная слоистость. Подстилается глинистая толща серыми глинистыми мелкозернистыми песками с плохой сортировкой и примесью гравийных зерен кварца и гальки кремня. Важно отметить, что разбуривались только небольшие бугры высотой 6–8 м, большая часть наиболее высоких холмов бурением не изучена.

Не ясным остается происхождение линейно-рядового рельефа, сложенного по данным Ю.Ф. Андреева [1] мерзлыми льдистыми (до 30–40%) глинами. С одной стороны, небольшие гряды могут быть связаны с трещинами на леднике [2], с другой стороны, есть предположение о ведущей роли тектонического (гряды связаны с глинистой частью разреза нижележащих положительных структур) и мерзлотных факторов [1].

Эоловый рельеф, как отмечается в отчетных материалах [3], на водоразделах приурочен к камовым повышениям, грядам, зандровым равнинам и другим аккумулятивным формам, созданным водно-ледниковыми потоками во время деградации ледникового покрова. В долине р. Надым развеванию подвергаются отложения второй террасы, сложенные песками, принесенными с водоразделов и имеющими первичный флювиогляциальный генезис. На

поверхности песчаных раздувов в наиболее пониженной части нередко формируется галечниковый плащ.

Помимо ледниковых и водно-ледниковых форм в пределах рассматриваемой территории в рельефе установлены следы как минимум двух трансгрессий – салемальской и казанцевской (сангомпанской) (абразионные террасы, волно-прибойные террасы, лайдовые равнины и др.) [4]. Проведенный дистанционный анализ показал, что типичные признаки морского рельефообразования распространены преимущественно на нижнем геоморфологическом уровне (до 40 м над ур. м.) в северной части бассейна р. Надым, а также на правобережье р. Правая Хетта.

Одним из наиболее интересных объектов, исследованных в ходе натурных наблюдений 2016–2018 гг., является камоподобный холм на левом берегу р. Правая Хетта высотой около 12 м (абсолютная высота вершины около 45 м над ур. м.). С поверхности холм сложен галечниковой толщей с примесью крупнозернистого песка (прослежен на глубину 1,6 м). Разрез в средней части холма выявил переслаивание горизонтов белесого и ярко-охристого песка, разделяемых песком черного цвета, при этом горизонты формируют два явных цикла. Результаты абсолютного датирования методом инфракрасной оптически стимулированной люминесценции (IR-OSL) в научно-исследовательской лаборатории геохронологии четвертичного периода Таллинского технологического университета под руководством А.Н. Молодькова (Tallinn Research Laboratory for Quaternary Geochronology, RLQG) показали, что возраст верхней толщи составляет 373 ± 90 тыс. л. (RLQG 2567-019), а возраст нижней – 427 ± 30 тыс. л. (RLQG 2568-019). Можно предположить, что холм сформировался гораздо раньше тазовского оледенения, галечниковая толща бронировала более древние отложения и в дальнейшем оказалась устойчива к эрозионным процессам и не перекрывалась морскими водами казанцевской трансгрессии.

В ходе работ удалось также датировать толщи предположительно флювиогляциальных отложений в верховьях р. Хейгияха (Лонгъюган) и в среднем течении р. Ярудей. В первом случае серые слабо сортированные пески с примесью гальки видимой мощностью около 4 м были вскрыты в карьере на абсолютной высоте около 120 м (в карьере обнаружено также большое количество валунов размером до 2 м в диаметре). Возраст песков составил $123 \pm 9,4$ тыс. л. (RLQG 2578-059). Во втором случае в карьере, заложенном на склоне крупной слегка изогнутой гряды (абсолютная высота 65 м), прослеживается монотонная толща крупнозернистых песков мощностью более 15 м, возраст которых в верхней части составил $112,2 \pm 8,3$ тыс. л. (RLQG 2577-059). В отдельных местах на поверхности гряды (по сути это серия параллельных гряд субширотного простираения) отмечены выходы галечникового угловатого материала, который в одном из шурфов прослеживается на глубину более 2 м. Полученные результаты свидетельствуют о том, что во время казанцевского межледниковья на обширной территории существовали благоприятные условия для водной эрозии отложений, накопленных после тазовского оледенения.

Исследования в среднем течении р. Левая Хетта подтвердили наличие моренных суглинков с включением обломочного материала в структуре вскрываемого береговыми обнажениями моренно-камового всхолмления. На данном участке в дальнейшем предполагается провести более детальные полевые работы, включая абсолютное датирование, анализ гранулометрического, химического и петрографического составов.

В целом, полученные результаты полевых работ 2016–2018 гг. подтвердили выводы более ранних исследований о широком распространении ледникового и водно-ледникового рельефов на рассматриваемой территории и позволили уточнить период формирования отложений на некоторых ключевых участках.

Заключение

Результаты проведенного на примере нижнего и среднего течений р.Надым исследования показали, что на основе общедоступных мультиспектральных данных ДЗЗ и ЦМП возможно картографирование форм ледникового и водно-ледникового рельефа на значительных по площади территориях. Современные ЦМП среднего и высокого разрешения, такие как ArcticDEM, AW3D30 и WorldDEM, обеспечивают точность высотных значений, сопоставимую с точностью топографической карты масштаба 1:25000, но при этом более детально отображают отдельные формы даже в залесенных условиях северной тайги.

Ключевую роль при геоморфологическом картографировании играет использование достоверных и устойчивых индикационных признаков. В ходе исследования удалось уточнить и расширить выявленные ранее в ходе геологосъемочных работ признаки путем сопоставления фрагментов аэрофотосъемки и современных дистанционных данных. Описанные признаки, эталоны и методика дешифрирования применимы для детальных дистанционных исследований в других районах севера Западной Сибири.

По итогам картографирования можно отметить две явные закономерности распространения форм ледникового и водно-ледникового рельефов в бассейне р. Надым:

– все выделенные формы находятся южнее осевой линии по рекам Ярудей и Правая Хетта, при этом в междуречье Ярудей и Хейгияхи (Лонгъюган) объекты встречаются единично, а в южной и западной частях разнообразие и плотность форм максимальны;

– все выделенные формы фиксируются выше 40 м над ур. м. (за исключением песчаных раздувов на переотложенных флювиогляциальных песках в долине Надыма), при этом плотность объектов значительно увеличивается на водораздельных участках выше 70 м.

Признаки морского рельефообразования имеют ограниченное распространение на нижнем геоморфологическом уровне (до 40 м над ур. м.) в северной части бассейна р. Надым и его притоков (Ярудей, Правая Хетта).

Полевая верификация результатов показывает, что основные формы ледникового рельефа (камовые холмы и гряды, моренно-камовые всхолмления и конечно-моренные образования) сложены преимущественно несортированными крупнозернистыми песками с обилием галечникового материала, а также мореноподобными толщами комковатых глин, суглинков и глинистых песков с гравием и крупными валунами. Данные абсолютного датирования показывают, что водно-ледниковый рельеф сформировался не позднее времени казанцевского межледниковья.

Полученные результаты основаны на исходных дистанционных данных с открытым режимом доступа, что позволяет проводить их независимую оценку и уточнение. Кроме того, высокая плановая точность картографирования каждого отдельного объекта дает возможность планировать маршруты полевых работ для дополнительного изучения наиболее дискуссионных форм рельефа, что будет способствовать постепенному улучшению качества и достоверности производных тематических карт.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ и Правительства ЯНАО 19-45-890008 p_a.

Acknowledgements. This work was supported by the grant of the RFBR and the Government of the Yamal-Nenets Autonomous District No. 19-45-890008 p_a.

Библиографический список

1. Андреев Ю.Ф. О связи линейно-грядового рельефа с тектоническими структурами на севере Западной Сибири (в области развития многолетней мерзлоты) // Геология и геохимия. 1960. Вып. 3(IX). С. 76–94.

2. Геологическая и геоморфологическая съемка части бассейна нижнего течения р.Надым и части правобережья р.Надымская Обь в 1953 г. (отчет партии №1) / ВСЕГЕИ; рук. Чекунова В.С. Л., 1954. 72 с., с прил. Инв. № 0670 (Тюменское ТГУ).

Физическая география, геоморфология и ландшафтоведение
Сизов О.С.

3. *Геологическая и геоморфологическая съемка части бассейна среднего течения р.Надым (отчет партии №5) / ВСЕГЕИ; рук. Хлебников В.И. Л., 1954. 192 с., с прил. Инв. № 0668 (Тюменское ТГУ).*
4. *Геологическая съемка М 1:1000000 бассейна р.Хайги-Яха (Лонг-Юган) (отчет партии №4) / ВСЕГЕИ; рук. Гройсман Я.М. Л., 1954. 200 с., с прил. Инв. № 0669 (Тюменское ТГУ).*
5. *Геологическое строение и геоморфология бассейнов р.Танлова, Правая Хетта, Большая Хуху (правых притоков среднего отрезка р.Надым) / ВНИГРИ; рук. Евсеев Г.П., Рейнин И.В. Л., 1958. 72 с. Инв. № 0751 (Тюменское ТГУ).*
6. *Городков Б.Н.* Западно-Сибирская экспедиция Российской Академии наук и Русского геогр. об-ва // *Природа*. 1924. № 7–12.
7. *Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000 000 (новая серия). Лист Q-42, 43 – Салехард. Объяснительная записка. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1996. 217 с.*
8. *Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000 000 (третье поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист Q-43 – Новый Уренгой. Объяснительная записка. СПб.: Карт. фабр. ВСЕГЕИ, 2015. 320 с*
9. *Застрожных А.С., Шкатова В.К., Минина Е.А., Тарноградский В.Д., Круткина О.Н., Красоткин С.И., Гусев Е.А.* Новая карта четвертичных отложений масштаба 1:2 500 000 территории Российской Федерации // *Мат. VII Всерос. совещ. по изуч. четверт. пер. Апатиты*. 2011. Т.1. С. 209–211.
10. *Земцов А.А.* Геоморфология Западно-Сибирской равнины. Томск: Изд-во ТГУ, 1976. 344 с.
11. *Зыкина В.С., Зыкин В.С., Вольвах А.О., Овчинников И.Ю., Сизов О.С., Соромотин А.В.* Строение, криогенные образования и условия формирования верхнечетвертичных отложений Надымского Приобья // *Криосфера Земли*. 2017. Т. XX. №6. С. 14–25. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2017-6(14–25).
12. *Кузин И.Л.* Мифы и реалии учения о материковых оледенениях. СПб.: Изд-во СЗНИИ «Наследие», 2013. 178 с.
13. *Лазуков Г.И.* Антропоген северной половины Западной Сибири (палеогеография). М., 1972. 127 с.
14. *Палеогеография Западно-Сибирской равнины в максимум позднезырянского оледенения.* Новосибирск: Наука, 1980. 115 с.
15. *Поиски месторождений строительных материалов вдоль трассы автодороги Уренгой-Надым-Советский в Надымском, Березовском и Октябрьском районах Тюменской области в 1986-1989 гг. (отчет Центральной геолого-поисковой партии) / Министерство геологии СССР; отв. исполнитель Н.И. Прусаков. Кн.1. Тюмень, 1989.*
16. *Рельеф Западно-Сибирской равнины.* Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 192 с.
17. *Сизов О.С.* Геоэкологические аспекты современных эоловых процессов северотаежной подзоны Западной Сибири. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2015. 124 с.
18. *Сизов О.С., Лоботросова С.А., Соромотин А.В.* Лишайниковые сосняки северной тайги Западной Сибири как индикатор ледниковых условий рельефообразования // *Проблемы региональной экологии*. 2017. №2. С. 60–68.
19. *Стрелков С.А., Сакс В.Н., Архипов С.А., Волкова В.С.* Проблема четвертичных оледенений Сибири // *Основные проблемы изучения четвертичного периода*. М.: Наука, 1965. С. 188–205.
20. *Унифицированная стратиграфическая схема четвертичных отложений Западно-Сибирской равнины.* Новосибирск: СНИИГиМС, 2000, 64 с.
21. *Фрадкин М.М.* Петрографический состав валунов на севере Западно-Сибирской низменности // *Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода*. 1946. №8. С. 82–94.
22. *Atkinson N., Utting D., Pawley S.* Landform signature of the Laurentide and Cordilleran ice sheets across Alberta during the last glaciation // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2014. V. 51(12). P. 1067–1083. doi: 10.1139/cjes-2014-0112.
23. *Bolch T., Loibl D.* GIS for Glaciers and Glacial Landforms // *Comprehensive Geographic Information Systems*. Elsevier, 2017. pp. 112–139.
24. *Claire P. et al.* ArcticDEM. Harvard Dataverse. V1. 2018. doi: 10.7910/DVN/OHHUKH.
25. *Clark C, Ely J., Greenwood L., Hughe A., Meehan R., Barr I., Bateman D., Bradwell T., Doole J., Evans D., Jordan C, Monteys X., Pellicer X., Sheehy M.* BRITICE glacial map, version 2: A map and GIS database of glacial landforms of the last British–Irish Ice Sheet // *Boreas*. 2017. V. 47. P. 11–27. doi: 10.1111/bor.12273.

26. Fredin O., Rubensdotter L., Welden A., Larsen E., Lysa A. Distribution of ice marginal moraines in NW Russian // *Journal of Maps*. 2012. V. 8:3. P. 236–241. doi: 10.1080/17445647.2012.708536.
27. Sentinel-2. URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> (дата обращения: 31.01.2020).
28. Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I., Demidov I. et al. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia // *Quaternary Science Reviews*. 2004. V. 23. P. 1229–1271. doi: 10.1016/j.quascirev.2003.12.008.
29. Tadono T., Nagai H., Ishida H., Oda F., Naito S., Minakawa K., Iwamoto H. Initial Validation of the 30 m-mesh Global Digital Surface Model Generated by ALOS PRISM // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS*. 2016. V. XLI-B4. P. 157–162. doi: 10.5194/isprsarchives-XLI-B4-157-2016.
30. WorldDEM™ – The New Standard of Global Elevation Models. URL: <http://www.intelligence-airbusds.com/en/4824-worlddem-products-standardised-dems-for-any-point-on-earth> (дата обращения: 31.01.2020).

References

1. Andreev Yu.F. (1960), “O svyazi lineynno-gryadovogo rel'yefa s tektonicheskimi strukturami na severe Zapadnoy Sibiri (v oblasti razvitiya mnogoletney merzloty)”, *Geologiya i geokhimiya*, no. 3(IX), pp. 76–94.
2. “Geologicheskaya i geomorfologicheskaya s'yemka chasti basseyna nizhnego techeniya reki Nadym i chasti pravoberezh'ya reki Nadymskaya Ob' v 1953 g. (otchet partii №1)”, VSEGEI. Leningrad, 1954, 72 s.
3. “Geologicheskaya i geomorfologicheskaya s'yemka chasti basseyna srednego techeniya reki Nadym (otchet partii №5)”, VSEGEI. Leningrad, 1954, 192 s.
4. “Geologicheskaya s'yemka masshtaba 1:1000000 basseyna reki Khaygi-Yakha (Long-Yugan) (otchet partii №4)”, VSEGEI. Leningrad, 1954, 200 s.
5. “Geologicheskoye stroeniye i geomorfologiya basseynov r.Tanlova, Pravaya Khetta, Bol'shaya Khukhu (pravyyh pritokov srednego otrezka r.Nadym)”, VNIGRI. Leningrad, 1958, 72 s.
6. Gorodkov B.N. (1924), “Zapadno-Sibirskaya ekspeditsiya Rossiyskoy Akademii nauk i Russkogo geograficheskogo obshchestva”, *Priroda*, no. 7–12.
7. “Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1000 000 (novaya seriya). List Q-42, 43 – Salekhard. Ob'yasnitel'naya zapiska”, Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo VSEGEI, 1996, 217 s.
8. “Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1000 000 (tret'ye pokoleniye). Seriya Zapadno-Sibirskaya. List Q-43 – Novyy Urengoy. Ob'yasnitel'naya zapiska”, Sankt-Peterburg: VSEGEI, 2015. 320 s.
9. Zastrozhnov A.S., Shkatova V.K., Minina E.A., Tarnogradsky V.D., Krutkina ON, Krasotkin S.I., Gusev E.A. (2011), “Novaya karta chetvertichnykh otlozheniy masshtaba 1:2 500 000 territorii Rossiyskoy Federatsii”, *Materialy VII Vserossiyskogo soveshchaniya po izucheniyu chetvertichnogo perioda*, vol.1, pp. 209–211.
10. Zemtsov A.A. (1976), “Geomorfologiya Zapadno-Sibirskoy ravniny”, Tomsk: TSU, Russia.
11. Zykina V.S., Zysin V.S., Vol'vakh A.O., Ovchinnikov I.Yu., Sizov O.S., Soromotin A.V. (2017), “Stroyeniye, kriogennyye obrazovaniya i usloviya formirovaniya verkhnechetvertichnykh otlozheniy Nadymskogo Priob'ya”, *Kriosfera Zemli*, no. XX (6), pp. 14–25.
12. Kuzin I.L. (2013), “Mify i realii ucheniya o materikovykh oledeneniyyakh”, SPb.: Naslediye, Russia.
13. Lazukov G.I. (1972), “Antropogen severnoy poloviny Zapadnoy Sibiri (paleogeografiya)”, Moscow, Russia.
14. “Paleogeografiya Zapadno-Sibirskoy ravniny v maksimum pozdnezyryanskogo oledeneniya”, (1980), Novosibirsk: Nauka, Russia.
15. “Poiski mestorozhdeniy stroitel'nykh materialov vdol' trassy avtodorogi Urengoy-Nadym-Sovetskiy v Nadymskom, Berezovskom i Oktyabr'skom rayonakh Tyumenskoy oblasti v 1986-1989 (otchet Tsentral'noy geologo-poiskovoy partii)”, SSSR Ministerstvo Geologii; Kniga 1. Tyumen, 1989.
16. “Rel'yef Zapadno-Sibirskoy ravniny”, (1988), Novosibirsk: Nauka, Russia.
17. Sizov O.S. (2015), “Geoekologicheskiye aspekty sovremennykh eolovykh protsessov severotayezhnoy podzony Zapadnoy Sibiri”, Novosibirsk: Geo, Russia.
18. Sizov O.S., Lobotrosova S.A., Soromotin A.V. (2017), “Lishaynikovyye sosnyaki severnoy taygi Zapadnoy Sibiri kak indikator lednikovyykh usloviy rel'yefoobrazovaniya”, *Problemy regional'noy ekologii*,

Физическая география, геоморфология и ландшафтоведение
Сизов О.С.

no. 2, pp. 60–68.

19. Strelkov S.A., Saks V.N., Arkhipov S.A., Volkova V.S. (1965), “*Problema chetvertichnykh oledeneniya Sibiri*”, *Osnovnyye problemy izucheniya chetvertichnogo perioda*, pp. 188–205.

20. “*Unifitsirovannaya stratigraficheskaya skhema chetvertichnykh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy ravniny*”, (2000) Novosibirsk: SNIIGGiMS, Russia.

21. Fradkin M.M. (1946), “*Petrograficheskiy sostav valunov na severe Zapadno-Sibirskoy nizmennosti*”, *Byulleten' komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*, no. 8, pp. 82–94.

22. Atkinson N., Utting D., Pawley S. (2014), “*Landform signature of the Laurentide and Cordilleran ice sheets across Alberta during the last glaciation*”, [Canadian Journal of Earth Sciences, 51(12)], pp. 1067–1083.

23. Bolch T., Loibl D. (2017), “*GIS for Glaciers and Glacial Landforms*”, [Comprehensive Geographic Information Systems], pp. 112–139.

24. Claire P. et al. (2018), “*ArcticDEM*”, Harvard Dataverse.

25. Clark C., Ely J., Greenwood L., Hughe A., Meehan R., Barr I., Bateman D., Bradwell T., Doole J., Evans D., Jordan C., Monteys X., Pellicer X., Sheehy M. (2017), “*BRITICE glacial map, version 2: A map and GIS database of glacial landforms of the last British–Irish Ice Sheet*”, [Boreas, 47], pp. 11–27. doi: 10.1111/bor.12273.

26. Fredin O., Rubensdotter L., Welden A., Larsen E., Lysa A. (2012), “*Distribution of ice marginal moraines in NW Russian*”, [Journal of Maps, 8:3], pp. 236–241. doi: 10.1080/17445647.2012.708536.

27. Sentinel-2, available at: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> (Accessed 31 January 2020).

28. Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I., Demidov I. et al. (2004), “*Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia*”, [Quaternary Science Reviews, 23], pp. 1229–1271. doi: 10.1016/j.quascirev.2003.12.008.

29. Tadono T., Nagai H., Ishida H., Oda F., Naito S., Minakawa K., Iwamoto H. (2016), “*Initial Validation of the 30 m-mesh Global Digital Surface Model Generated by ALOS PRISM*”, [The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS, XLI-B4], pp. 157–162. doi: 10.5194/isprsarchives-XLI-B4-157-2016.

30. WorldDEM™ – The New Standard of Global Elevation Models, available at: <https://www.intelligence-airbusds.com/elevation-models/#worlddem> (Accessed 31 January 2020).

Поступила в редакцию: 01.02.2020

Сведения об авторе

Олег Сергеевич Сизов

кандидат географических наук,
старший научный сотрудник,
Институт проблем нефти и газа РАН;
119333, Россия, г. Москва, ул. Губкина, д.3

e-mail: kabanin@yandex.ru

About the author

Oleg S. Sizov

Candidate of Geographical Sciences,
Senior Researcher,
Institute of Oil and Gas Problems RAS;
3, Gubkina st., Moscow, 119333, Russia

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Сизов О.С. Дистанционное картографирование ледниковых и водно-ледниковых форм рельефа в бассейне р. Надым (север Западной Сибири) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2020. №2(53). С. 6–23. doi 10.17072/2079-7877-2020-2-6-23.

Please cite this article in English as:

Sizov O.S. Remote mapping of glacial and fluvio-glacial relief in the Nadym river basin (north of Western Siberia) // Geographical bulletin. 2020. №2(53). P. 6–23. doi 10.17072/2079-7877-2020-2-6-23.