

Н. А. Кандрюкова

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ И ЛИНЕАМЕНТНАЯ СТРУКТУРА ДЕЛЬТЫ РЕКИ ЛЕНЫ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННОЙ СЪЕМКИ

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, Российская Федерация

Данная статья посвящена геоморфологическому районированию дельты реки Лены, выполненному на основе анализа дистанционной информации с использованием ГИС-технологии. Во вступительной части статьи приводятся сведения о географическом расположении и строении дельты Лены, которая относится к дельтам выдвигания. Для таких дельт характерно отсутствие консолидированной старой дельтовой поймы, множество обособленных рукавов образуют густую сеть водотоков. Дельта Лены постоянно видоизменяется, происходит периодическое перераспределение стока в разветвлениях русла.

В целом территория дельты изучена достаточно хорошо, однако анализ дистанционных материалов позволяет получить новую, уточняющую информацию. В основной части статьи описывается применявшаяся в данном исследовании методика геоморфологического дешифрирования космоснимка на основе выделения текстурных объединений, индицирующих различные геоморфологические комплексы, и приводятся результаты дешифрирования, представленные описанием семи выделенных геоморфологических районов. Полученные результаты сравниваются с результатами районирования, выполненного ранее на основе данных полевых исследований. Анализ материалов дистанционной съемки показывает, что некоторые ранее обобщенные территории следует выделять в качестве отдельных геоморфологических районов. Кроме того, проявляющаяся на снимке зона наибольшей концентрации термокарстовых озер острова Арга-Муора-Сисе в северной части дельты, позволяет выдвинуть предположение о наличии в этом месте прогиба в земной коре.

В заключительной части статьи рассматриваются проявления тектонической активности дельты Лены, выражающиеся на космическом снимке в виде линеаментов и их зон. На снимке четко прослеживается вертикальная граница, проявляющаяся в виде различий в фототоне изображения, которая делит дельту на две части. Это основной разлом, определяющий очертания дельты, по которому происходит максимальное прогибание земной коры. Косвенным признаком, подтверждающим наличие этого разлома, является изогнутая в определенном направлении форма дельты. Анализ текстуры изображения позволяет говорить о том, что западная часть дельты наиболее старая и, вероятно, испытывает тектоническое поднятие, тогда как восточная часть, более молодая, испытывает тектоническое погружение. Приводится ссылка на проведенные ранее исследования возраста отложений конусов выноса дельты, которые согласуются с результатами дешифрирования. Наиболее интенсивное погружение территории происходит в районе Быковской протоки, чем обусловлен наибольший сток воды именно в этом направлении. Библиогр. 8 назв. Ил. 3.

Ключевые слова: речная дельта, дистанционные материалы, геоморфологический район, линеамент.

GEOMORPHOLOGICAL AND LINEAR STRUCTURE OF THE LENA RIVER DELTA, BASED ON REMOTE SENSING DATA

N. A. Kandrukova

St. Petersburg State University, Universitetskaya nab., 7/9, St. Petersburg, 199034, Russian Federation

The paper introduces the results of geomorphological demarcation of the Lena river delta, achieved by an analysis of remote sensing data with the use of GIS technologies. Also, it compares the achieved results and previously accomplished demarcation, based on field data. Signs of tectonic activity, expressed as linear structures and their belts on space images, are also considered. Refs 8. Figs 3.

Keywords: river delta, remote sensing data, geomorphological region, linear structure.

Общие сведения

Лена — одна из крупнейших рек мира, общей протяженностью около 4400 км. Она берет свое начало в Приморском и Байкальском хребтах, к северу, северо-западу от Байкала, и протекает до Северного Ледовитого океана, где впадает в море Лаптевых. Ее долина является границей двух геоморфологических формаций: к западу расположено Среднесибирское плоскогорье, к востоку — Верхоянский хребет. Ниже Якутска в Лену впадают два главных притока — Алдан и Вилюй, образуя огромный водный поток. В нижнем течении бассейн ограничен хребтами Хараулах с востока и Чекановского с запада. Примерно в 150 км от моря остров Тит-Ары разделяет реку на два рукава, — отсюда начинается обширная дельта Лены, простирающаяся на площадь около 29 630 кв. км [1] и вбирающая в себя прибрежные острова, окруженные аккумулятивной толщей аллювиальных отложений. Это вторая по размерам речная дельта в мире, уступающая по площади лишь дельте реки Миссисипи. Она делится более чем на 150 обособленных рукавов, которые выносят огромные массы терригенного материала, откладывая их в зоне дельты, тем самым постоянно видоизменяя ее.

Для дельт выдвигения, к которым относится дельта Лены, характерным является отсутствие консолидированной старой дельтовой поймы. От общего узла разветвления в вершине дельты отходит несколько магистральных рукавов, имеющих свои региональные узлы разветвления, образующих густую сеть водотоков, разделенных островами. Старые дельтовые острова переформируются речным потоком, все русловые формы очень динамичны, происходит периодическое перераспределение стока в разветвлениях русла и отмирание второстепенных проток [2].

Дельта Лены прошла длительный период развития и имеет сложное строение, на ее территории широко развиты древние останцовые массивы Приморской низменности, сложенные едомным комплексом рыхлых плейстоценовых отложений или коренными породами девона [3].

Предполагается, что на ранних этапах формирования дельты происходило интенсивное заполнение всех полузамкнутых акваторий в устье Лены, где в результате были сформированы региональные дельты выполнения — Сордоохская, Оленёкская, Арынская и Быковская. Но большая часть общей площади голоценовой дельты Лены приходится на выдвинутые в море конусы выносов северных и восточных дельтовых проток, создающих сложную гидрографическую сеть. Огромный аллювиальный конус дифференцируется на следующие части: Туматскую систему узких, извилистых, маловодных рукавов и крупных, удлинённых островов, и Трофимовско-Сардахскую систему широких и полноводных рукавов, заполненных массой мелких островов.

Туматская протока формирует многорукавный конус выноса с выровненным округлым морским краем и причлененными морскими барами, а на Трофимовско-Сардахском участке морской край дельты имеет мелколопастной характер с выдвинутыми в море устьевыми барами [5].

Дистанционные исследования

В целом территория дельты Лены изучена хорошо, особенно необходимо выделить ежегодные экспедиции последних лет, проводившиеся с 1998 г. и позволившие получить данные о микробиологических процессах, геологии, гидрологии, геоэкологии, геоморфологии дельты. Долгое время источником фактического материала

служили в основном контактные полевые исследования, однако в настоящее время дистанционные методы сильно прогрессируют, получают все новые съемочные материалы, совершенствуется технология их обработки. По этой причине есть возможность, проанализировав материалы съемок последних лет и применив обработку их в системе ArcGIS, попытаться получить добавочную информацию о строении рельефа этого труднодоступного региона.

Таким образом, целью данной работы является создание геоморфологического портрета района нижней Лены на основе данных многозональной съемки и сопоставление полученных результатов с имеющимися в многочисленных трудах последних десяти лет. Для этого необходимо выполнить геоморфологическое и структурное дешифрирование космоснимков и выделить текстурные объединения, индицирующие различные геоморфологические комплексы, изучить внутреннюю структуру текстурных полей, а также выделить линеamentную структуру местности.

Материалы дистанционной съемки иллюстрируют интегральную характеристику различных свойств земной поверхности, которые могут проявляться с помощью индикационных свойств ландшафта, выражающихся на снимке через яркостные параметры, геометрию образа, структуру и текстуру изображения [4]. Использование многозональных снимков имеет две основных особенности. Первая заключается в спектральной индивидуальности объектов земной поверхности, означающей, что они по-разному отражают электромагнитные волны в зависимости от зоны спектра. Вторая особенность состоит в том, что отражающая способность поверхности зависит от степени влажности грунта.

Для целей нашей работы мы применили методический прием, состоящий в дешифрировании одного зонального снимка, наиболее удовлетворяющего поставленной задаче. В данном случае для геоморфологического дешифрирования наиболее оптимален снимок, сделанный в ближней инфракрасной зоне. Водные поверхности обладают свойством поглощать излучение этой части спектра, вследствие чего изображаются на снимке наиболее темными. Растительность и горные породы поднятых, и следовательно, более сухих участков, изображаются на снимке более светлыми, чем тяжелые влажные грунты пониженных территорий. Это облегчает процесс дешифрирования, поскольку исчезает излишняя пестрота ландшафта, изображение получается наиболее контрастным, видны структурные линии складчатого фундамента дельты. Съемка была проведена съемочной системой Landsat ETM+ в летнее время, в пик вегетации растительного покрова, в период с 1999 по 2001 гг.

Порядок дешифрирования снимков зависит от их масштаба, характера местности и поставленных задач, но, как правило, любое дешифрирование подразумевает на начальных этапах геоморфологическое районирование и картирование, поскольку именно рельеф распределяет потоки вещества и энергии и является определяющей компонентой ландшафта. Космический снимок территории представлен в растровой форме. Чтобы перейти к карте, содержащей выделенные геоморфологические районы, необходимо представить результаты в векторном формате. Поэтому мы провели процедуру цифрования экранного изображения снимка при помощи ГИС, при которой нужные границы обводятся курсором и фиксируются в векторной форме. Границы были выделены на основе структурных признаков (текстуры, структуры) изображения. Полученные районы отображены на рис. 1.

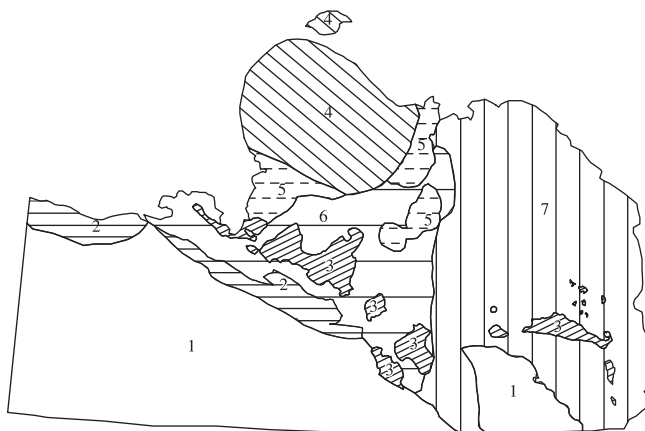


Рис. 1. Схема морфологического районирования дельты реки Лены

1. Цокольный структурно-денудационный рельеф Верхоянской складчатой зоны — грядовой рельеф, изрезанный сеткой эрозионного расчленения и характеризующийся слабой ориентировкой структурных линий.

2. Строго ориентированный структурный рельеф на складчатом основании, отличающийся по своей морфологии от первого участка. На геоморфологической карте, приведенной в работе Д. Ю. Большаинова [1], районы 1 и 2 объединены, однако в инфракрасной зоне съемки видно, что район 2 отличается четкой ориентировкой грядового рельефа в северо-западном направлении и отражает структуру геологического субстрата. Можно предположить, что комплекс 2 надвинут на комплекс 1 (пологая дуга).

3. Геоморфологические ландшафты аккумулятивно-морской равнины (ледовый комплекс) [1], представляющие собой элементы поверхности, на которую наложилась речная дельта. По данным М. Н. Григорьева [5] поверхность соответствует третьей надпойменной террасе, однако более поздние исследования позволили установить, что роль реки в формировании этих пород сводится к активному разрушению их в результате термоэрозии. Это останцы поверхности, сложенной породами едомного, или ледового, комплекса, содержащего огромное количество мощных повторно-жильных льдов. Предполагается, что отложения ледового комплекса формировались на побережье моря Лаптевых в мелководном пресноводном бассейне. Колебания уровня бассейна приводили к сингенетическому промерзанию бассейновых осадков. Поверхность останцов осложнена формами микро- и мезорельефа, в первую очередь такими термокарстовыми формами, как озерные котловины глубиной до 15 м и аласы. К другим встречающимся формам рельефа относятся бугры пучения (булгунняхи), мерзлотные полигоны различных размеров, а также байджарахи — холмы высотой до 7 м, представляющие собой остатки минеральной составляющей пород ледового комплекса [1].

Отдельно стоит обратить внимание на остров Сардах, который мы также отнесли к группе пород ледового комплекса, ориентируясь по фототону и структуре изображения. Однако этот остров представляет собой купольное поднятие, о чем говорит его строго округлая форма в плане. По данным ВСЕГЕИ [6], в районе острова

залегает фундамент архейского возраста, а на некоторых участках острова он выходит на поверхность.

4. Территория островов и прибрежных равнин, к которым прислонена дельта, и образовавшихся ранее современных дельтовых пространств, которая затем могла быть приподнята тектоническими движениями (максимально высокий уровень равнин) и с тех пор разрушается речными и морскими термокарстовыми процессами. Судя по рисунку изображения, можно предположить, что данный участок представляет собой пологую платформенную складку, имеющую брахиформную структуру. Можно мысленно продолжить геометрический контур выделенного района (на рис. 2 — пунктиром), захватывая территорию, уже переработанную термоабразионной деятельностью моря. В этом случае объект приобретает очертания круга.

По данным недавних исследований [1], остров Арга-Муора-Сисе сложен более древними, чем дельта, аллювиально-морскими осадками. Предполагается, что формирование пород происходило на морском мелководье из наносов, принесенных рекой. Поверхность сильно изъедена термокарстовыми озерами и аласами, ориентированными с северо-северо-востока на юго-юго-запад. Такая ориентировка, вероятно, не случайна. Благодаря геоморфологическим индикаторам, проявляющимся на космических снимках, возможно выявление криптоморфных (скрытых) разломов ориентированной линейной геометрии, связанных с проявлением разрывных нарушений земной коры. На поверхности отражением подобных процессов являются линеаменты. Если смещение блока происходит в некотором погребенном слое, то оно может вызывать смещение (деформацию) всего вышележащего слоя покрова, на поверхности такие смещения могут проявиться в виде полосы или зоны линейных форм. Если предположить, что полосчатость острова представляет собой структуру субстрата, который находится глубже толщи аллювиально-морских отложений, тогда длинную, вытянутую в определенном направлении форму термокарстовых озер можно объяснить эндогенным теплом, поступающим к поверхности по строго ориентированным трещинам.

Зона нарушений может концентрироваться в виде полосовой тонометрической аномалии, тогда ширина и внутренний рисунок аномалии отображают форму и интенсивность первичной деформации. Чем активнее сигнал, т. е. чем ближе его источник к поверхности, тем резче проявление глубинной неоднородности на поверхности [7]. Таким образом, зона наибольшей концентрации термокарстовых озер острова Арга-Муора-Сисе, протянувшаяся с северо-запада на юго-восток, а также

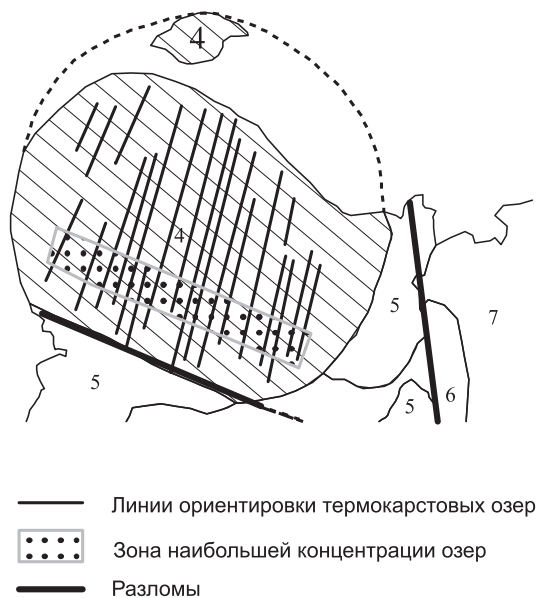


Рис. 2. Ориентировка термокарстовых озер острова Арга-Муора-Сисе (цифры — номера районов, см. рис. 1)

более темный фототон этого участка на снимке говорят о наличии в этом месте прогиба в земной коре.

5. Поверхности того же происхождения, что в районе под номером 4, но обладающие более низким гипсометрическим положением; в других работах [2] эти территории объединены едиными границами. Однако в нашем случае поверхности 5 выделены, поскольку при дешифрировании космоснимков отчетливо наблюдается более низкочастотный уровень яркости изображения этих участков, — это свидетельствует о том, что они более обводненные, значит, расположены ниже предполагаемого брахиформного поднятия 4. Кроме того, в отдельных случаях на этих поверхностях наблюдаются русловые формы рельефа, связанные с развитием дельты.

6, 7. Наиболее молодая часть дельты, разновозрастная в разных частях, представляющая собой голоценовую аллювиально-морскую террасу, развитие которой также связывают с колебаниями уровня моря. За время экспедиций последних лет были выделены единые по своим свойствам и возрасту поверхности конусы выноса, однако, поскольку датирование дистанционными методами невозможно, мы выделяем лишь два участка, наиболее явно различающиеся: 6 — поверхность, расположенная выше, с плохо выраженными руслами проток, менее выраженной контрастностью между русловыми формами и пойменными поверхностями, 7 — участок с более низким гипсометрическим положением и более четко выраженными русловыми формами. Согласно описаниям, сделанным в монографии [1], на поверхности террасы протекают различные мерзлотные процессы, в частности образование ледяных жил, что в свою очередь приводит к формированию мерзлотных тундровых полигонов. Центральная часть полигонов часто занята водой, тогда развиваются также термокарстовые процессы. По берегам островов ледяные жилы разрушаются процессами термоэрозии, образуя гроты или ниши. Исключительно на этой террасе встречаются старицы, вытянутые вдоль берегов островов и являющиеся палеоруслуками проток. Старицы формируются в результате перераспределения стока по рукавам дельты.

Линеаментная структура

Далее рассмотрим проявления тектонической активности в дельте Лены через линеаменты и их зоны. Как уже было отмечено выше, выявление скрытых нарушений возможно при помощи геоморфологических индикаторов. Например, в северной части дельты на стыке более древних пород и собственно дельтовых голоценовых отложений четко прослеживается вертикальная граница, проявляющаяся в виде различий в фототоне изображения и разделяющая дельту на две почти равные части: западная приподнята, восточная — опущена. Если провести эту линию ниже, то заметим, что ее продолжением является разлом, формирующий основное русло Лены до ее деления на рукава. На рис. 3 он обозначен цифрой 1.

Исходя из того что некоторые части проток приурочены к разломам, мы смогли выделить на снимке линеамент (см. номер 2 на рис. 3), наиболее ярко проявляющийся через спрямленные участки русел проток. Это сквозной разлом, поперечный по отношению к дельте и складчатый по отношению к структурным линиям, определяющим тектоническую структуру мезозойских комплексов Верхоянья. Его ориентировка совпадает также с ориентировкой зоны наибольшей концентрации термокарстовых озер района, выделенного под номером 4.



Рис. 3. Основные линеаменты дельты реки Лены (пояснения в тексте)

Кроме того, космический снимок дает возможность найти подтверждение выделенных разломов на основе косвенных признаков, поскольку характер тектонических движений в значительной мере определяет особенности внутреннего строения и развития наземных дельт. Проявления тектонических движений находят свое отражение не только в изменениях литологического состава дельт, нарушениях правильности их поверхности, а также, что наиболее информативно для данной работы, приводят к изменениям форм дельт в плане. Еще в 1957 г. К. В. Курдюков [8] отмечал, что изогнутая форма дельты указывает на то, что «максимальное прогибание имеет место в направлении, образующем острый угол с направлением склона горного хребта, близ которого расположена дельта». Таким образом, основным разломом, определяющим очертания дельты, можно считать разлом под номером 1 (рис. 3).

Тектонические движения активизировались уже в голоценовый период, поскольку еще в начале голоцена основной сток осуществлялся в северо-западном направлении. Проведенные ранее исследования возраста отложений конусов выноса дельты [3] показывают, что наиболее древней ее частью являются острова на границе Арынской и Туматской протоки (8570 лет), а наиболее молодой — острова Быковской протоки, возрастом не более 1,5 тыс. лет. Данные дистанционной съемки с этим согласуются — на снимке в западной части дельты четко просматривается ослабленная гидрология речных русел, а изображение обладает наиболее пятнистой структурой за счет большего развития крупных термокарстовых озер, что говорит о большем возрасте западной части.

Можно предположить, что дельтовые территории, расположенные к западу от разлома 1, испытывают тектоническое поднятие, тогда как к востоку от разлома территории опускаются. Максимально интенсивное тектоническое погружение происходит в районе Быковской протоки (юго-восток), что обуславливает наибольший сток воды именно в этом направлении. Данные полевых исследований [1] подтверждают, что сток по Большой Трофимовской протоке сокращается и перераспределяется в Сардахскую протоку, которая, в свою очередь, подпитывает Быковскую протоку.

Несмотря на детальные полевые работы, обобщенные в недавно опубликованной монографии [1], проведенные нами дистанционные исследования показали

возможность получения дополняющей и новой геолого-геоморфологической информации. По результатам анализа дистанционных снимков были разделены обобщенные ранее геоморфологические районы (см. 1 и 2, 4 и 5 на рис. 1). Была выделена сеть линеаментов и сделано предположение о наличии прогиба в земной коре в зоне наибольшей концентрации термокарстовых озер острова Арга-Муора-Сисе, а также выделены основные разломы, определяющие строение дельты.

Литература

1. *Большаинов Д. Ю., Макаров А. С., Шнайдер В., Штоф Г.* Происхождение и развитие дельты реки Лены. СПб.: ААНИИ, 2013. 268 с.
2. *Коротаев В. Н.* Геоморфология речных дельт. М.: Изд-во МГУ, 1991. 224 с.
3. *Коротаев В. Н.* Формирование гидрографической сети Ленской дельты в голоцене // Вестн. Московского ун-та. Сер. географ. 1984, №6. С. 39–44.
4. *Аксенов А. А., Можяева В. Г., Воробьев В. Т.* и др. Дистанционные исследования при нефтегазописковых работах. М.: Наука, 1988. 224 с.
5. *Григорьев М. Н.* Криоморфогенез устьевой области р. Лены. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 1993. 176 с.
6. Геологическая карта. Дальневосточный федеральный округ, Республика Саха (Якутия). URL: <http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/dvfo/yakutia/geol.jpg> (дата обращения: 20.03.2013).
7. *Лопатин Д. В.* Геоморфологический криптоморфизм как отражение строения литосферы // Вестн. С.-Петербур. ун-та. Сер. 7. 2008. Вып. 1. С. 48–54.
8. *Курдюков К. В.* Основные вопросы изучения наземных дельт. Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1957. № 21. С. 5–37.

Статья поступила в редакцию 26 сентября 2013 г.

Контактная информация

Кандрюкова Наталья Андреевна — студент; e-mail: natalya.kandryukova@gmail.com

Kandrukova N. A. — Student; e-mail: natalya.kandryukova@gmail.com