

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский Федеральный  
научно-исследовательский государственный университет»  
Институт наук о Земле  
ФГБОУ ВО «Нижевартовский государственный университет»  
Научно-исследовательская лаборатория геоэкологических исследований

**АНАЛОГОВЫЕ И ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ  
ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ  
РЕГИОНАЛЬНОМ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ**

Учебное пособие

Нижевартовск  
2017

**ББК 26.823я73**

**Л 24**

Печатается по постановлению Редакционно-издательского совета  
Нижевартовского государственного университета

Рецензенты:

д-р пед. наук, канд. геогр. наук, проф. *А.И. Жиров* (СПбГУ);  
д-р геол.-мин. наук, канд. хим. наук, проф. *В.Ю. Кузнецов* (СПбГУ);  
канд. геогр. наук, доцент кафедры «Нефтегазовое дело»  
филиала ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»  
в г. Нижневартовске *И.С. Аитов*

**Лопатин Д.В., Кандрюкова Н.А., Коркин С.Е., Коркина Е.А.**

**Л 24**      **Аналоговые и цифровые методы дистанционных исследований при региональном геоморфологическом анализе: Учебное пособие / под ред. Д.В. Лопатина и С.Е. Коркина. — Нижневартовск: Изд-во НВГУ, 2017. 99 с.**

**ISBN 978-5-00047-370-2**

Учебное пособие написано в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки студентов «География», «Картография и геоинформатика» (квалификация «магистр»). В пособии даны современные представления о дистанционных исследованиях и комплексная методика аналогового и цифрового геоморфологического дешифрирования многозональных космических изображений местности на конкретном региональном примере российской Арктики и Субарктики. Рассмотрены все этапы работы с эталонными изображениями и переносом полученных индикаторов на неизученную территорию. Объяснены причины выбора того или иного метода дешифрирования, их последовательности, комплексирования и выбора того или иного цифрового технологического приема для решения поставленной задачи.

Пособие предназначено для практических работ студентов с тем или иным программным продуктом. Несмотря на обилие учебных пособий по использованию данных ДЗЗ, имеющих академическую направленность, аналогов данному пособию нет, так как оно носит технологическую направленность.

Учебное пособие адресовано студентам географических, геоэкологических и геологических специальностей вузов.

**ББК 26.823я73**

*Работа выполнена в рамках исполнения инициативного научного проекта № 5.7590.2017/БЧ Минобрнауки России*

ISBN 978-5-00047-370-2

© Лопатин Д.В., Кандрюкова Н.А.,  
Коркин С.Е., Коркина Е.А., 2017  
© Издательство НВГУ, 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
Часть I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕЛЬЕФА.....	10
Глава 1. Теоретические основы геоморфологического дешифрирования .....	10
1.1. Дешифрирование как метод исследования природных объектов.....	10
1.2. Особенности геоморфологического дешифрирования.....	16
1.3. Основные методы дешифрирования и оценка надежности результатов.....	21
1.4. Составление итоговой карты.....	25
Часть II. ПРИРОДНАЯ СРЕДА РЕГИОНОВ ДЕЛЬТ РЕК ЛЕНЫ И ЯНЫ.....	27
Глава 2. Характеристика районов исследования.....	27
2.1. Дельта реки Лены.....	27
2.2. Дельта реки Яны.....	40
Часть III. ДИСТАНЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	47
Глава 3. Выбор наиболее оптимального метода геоморфологического дешифрирования на примере дельты реки Лены.....	47
3.1. Визуальное аналоговое дешифрирование.....	47
3.2. Неконтролируемая классификация.....	52
3.3. Контролируемая классификация.....	53
3.4. Оценка достоверности результатов дешифрирования.....	57
Глава 4. Дешифрирование дистанционных основ для территории дельты реки Яны .....	61
4.1. Геолого-геоморфологическое дешифрирование.....	61
4.2. Линеаментное дешифрирование.....	63
Глава 5. Дешифрирование русловых деформаций на примере широтного отрезка реки Оби .....	67

5.1. Стационарные наблюдения в пределах широтного отрезка реки Оби.....	68
5.2. Метод картографирования.....	72
5.3. Метод дешифрирования космоснимков.....	74
5.4. Полевой метод с применением систем спутникового позиционирования.....	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	79
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	81
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	86

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное учебное пособие представляет собой методический пример использования ресурса многозональной космической съемки при региональном геоморфологическом анализе той или иной местности. Оно предназначено для студентов магистратуры географических, геоэкологических и геологических специальностей, а также слушателей последипломного образования и аспирантуры. Пособие ориентировано на самостоятельное освоение методики геоморфологического дешифрирования многозональных снимков и синтезированных многофункциональных основ листов государственной геологической карты 1000/3 под руководством преподавателя.

Учебное пособие создавалось на основе курса лекций, читаемых и проводимых доцентом кафедры геоморфологии Санкт-Петербургского государственного университета почетным работником высшего образования Д.В. Лопатиным и доцентом Нижегородского государственного университета С.Е. Коркиным, и практических работ магистрантов. Практическая часть пособия по Арктике выполнена Н.А. Кандрюковой в процессе работы над выпускной квалификационной работой под руководством и при непосредственном участии доцента Д.В. Лопатина. Его компетенция в данной области знаний подтверждается многолетней практикой работы с материалами ДЗЗ в государственных и коммерческих структурах: в области регионального и обзорного картографирования глубинных рудоносных структур в комплексе с геофизическими материалами; при создании ГИС в задаче землепользования; при изготовлении дистанционных основ листов ГГК; при крупномасштабном геоморфологическом картографировании рудных полей, при полевом геоморфологическом дешифрировании. В пятой главе, представленной С.Е. Коркиным и Е.А. Коркиной, приводится региональный пример применения ДЗЗ в сочетании с другими методами.

При создании данного пособия использованы также все современные литературные материалы, источники, Интернет-ресурсы, дистанционные основы листов государственной геологической карты, предоставленные нам ВСЕГЕИ для учебных целей.

Прежде чем приступить к изучению информации ДЗЗ применительно к задачам геоморфологии, необходимо обратиться к

некоторым теоретическим понятиям самой геоморфологии. В условиях отсутствия геоморфологического кодекса, закрепляющего однозначность понятийного языка, приходится постоянно обращаться к определению основных понятий науки.

Напомним, что геоморфология — это наука о рельефе земной поверхности. Под термином «рельеф» понимается совокупность форм земной поверхности, обладающих морфологией, генезисом и возрастом. В отличие от топографической формы представления рельефа на картах, в виде изогипс, отображающих континуальный его характер, геоморфологическая отличается дискретностью отображения рельефа через системно связанные морфогенетические элементы. Термин «земная поверхность» предполагает геометрическую поверхность, разделяющую подвижные оболочки Земли (атмосферу и гидросферу) от консервативной — земной коры.

Эта поверхность постоянно изменяется под действием деформационных тектонических процессов и сил окисления геологического субстрата, попадающего в сферу деятельного влияния внешних, подвижных, геосфер, и внутренних, консервативных. Первые получили название *эндодинамических сил*, а вторые — *экзодинамических*. Совместное их действие создает разность потенциалов между геосферами. В результате такого взаимодействия и создается рельеф земной поверхности. В местах высоких значений разности потенциалов образуется многоярусный рельеф гор. При низких ее значениях формируется рельеф денудационных или структурных равнин и холмогорий. Там, где значения этой разности имеют отрицательные значения, располагаются аккумулятивные бассейны. Области с активным рельефообразованием изучаются с помощью морфотектонических методов исследований. В пассивных областях с малоcontrastным рельефом хорошо себя зарекомендовали морфометрические методы исследований. В местах с нулевыми или отрицательными значениями разности потенциалов методическую основу составляют дистанционные методы исследований. Таким образом, методическая линейка исследования рельефа изменяется в зависимости от степени его контрастности: от конформного к дисконформному или от тектоно-денудационного к криптоморфному или неясно выраженному. Именно последний наиболее успешно может изучаться дистанционными методами.

## ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия ценным материалом для тематического картографирования стали космические снимки, которые объективно отражают рельеф и структуру внешнего покрова Земли — почв, растительности и ландшафтов в целом. Поскольку для отдаленных, труднодоступных регионов космоснимки часто являются единственным возможным источником получения информации, необходимо научиться наиболее полно и точно использовать их, применяя те или иные методы, в зависимости от поставленных задач.

Цель данного пособия — показать его пользователю определение оптимального способа геоморфологического дешифрирования космических снимков в рамках регионального изучения рельефа местности на основе методической комбинации аналоговых и цифровых методов обработки данных ДЗЗ. В качестве примера была выбрана дельта реки Лены, где был проведен полный комплекс физико-географических, геоморфологических и палеогеографических исследований, а также стационарный участок на широтном отрезке реки Оби.

Важнейшей задачей, реализующей цель создания данного учебного пособия, явилось получение надежных геоиндикаторов для построения на их основе геоморфологической карты малоизученной дельты р. Яны, находящейся в похожих геологических и физико-географических условиях с дельтой р. Лены.

Даная тема актуальна и в региональном плане, так как в настоящий момент для территории дельты Яны отсутствует подробная геоморфологическая карта. Поскольку эта территория труднодоступна и для нее характерны суровые климатические условия на протяжении большей части года, организация экспедиций для выполнения полевых работ и сбора полевого материала потребует значительных затрат не только средств, но и времени. Использование дистанционной информации позволяет в значительно более короткие сроки, в лабораторных условиях и при меньшей затрате труда получить результат в виде новых знаний. Кроме того, в случае дальнейшей организации полевых работ и дельтах других великих рек, эти результаты могут быть исполь-

зованы в качестве исходного материала для уточнения и дополнения уже решенных задач.

Известные на настоящий момент методы дешифрирования дистанционных основ ранее не подвергались оценке на степень адекватности их применения для геоморфологического картографирования и точности получаемых результатов. Поэтому для достижения целей, поставленных в данной работе, необходимо было решить несколько задач:

1. Выполнить геоморфологическое дешифрирование для дельты реки Лены визуальным и автоматизированным способами.
2. Сравнить полученные результаты с данными полевых исследований для оценки достоверности примененных методик.
3. Применить методику, показавшую наиболее точный результат при дешифрировании снимков дельты Лены, к малоизученной, но похожей по сумме, природным условиям территории дельты реки Яны.
4. Дополнительно выполнить линеаментное дешифрирование визуальным способом для дельты реки Яны.
5. Дополнительно были решены две задачи по Субарктике: а) преимущественное использование КС в региональном геоморфологическом изучении широтного отрезка р. Оби и б) показ роли КС высокого разрешения при стационарных исследованиях отдельных геоморфологических узлов.

Для реализации данного проекта авторы поставили и решили ряд взаимосвязанных частных методико-технологических задач:

1) выбрать полигоны для получения индикационных характеристик рельефа и дальнейшей их экстраполяции на территорию с похожими геологическими и геоморфологическими условиями в пределах одной климатической зоны;

2) произвести визуальное индикационное дешифрирование оптимальной для данной задачи дистанционной информации в визуальном режиме в целях построения региональной схемы геоморфологического районирования;

3) произвести дешифрирование той же основы, используя метод неконтролируемой классификации пикселей для выделения однородных геоморфологических площадных элементов;

4) перенести данные геоморфологического дешифрирования с тестового участка на новый с использованием контролируемой классификации;

5) провести анализ степени достоверности полученных результатов;

6) провести линеаментный анализ регионов с целью выявления дизъюнктивных нарушений в том же порядке;

7) представить перечень технологических инструментов решения поставленных задач.

Для реализации этого методико-технологического плана необходимо было собрать данные по природным характеристикам исследуемых районов, а также найти необходимое количество снимков достаточно высокого качества, покрывающих всю исследуемую территорию. Все снимки, используемые в данной работе, были получены с сайта United States Geological Survey (USGS) [32] и с пакета файлов дистанционной основы, соответствующих данной территории, выполненных в Центре дистанционных исследований ВСЕГЕИ.

При обработке дистанционной информации использовались программы Erdas Imagine 2013, ArcGis 9.3 и QGis 2.8. Применялись методики визуального, контролируемого и неконтролируемого автоматизированного, а также линеаментного дешифрирования. Для оценки результатов дешифрирования был использован метод сравнения с эталонными данными.

# ЧАСТЬ I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕЛЬЕФА

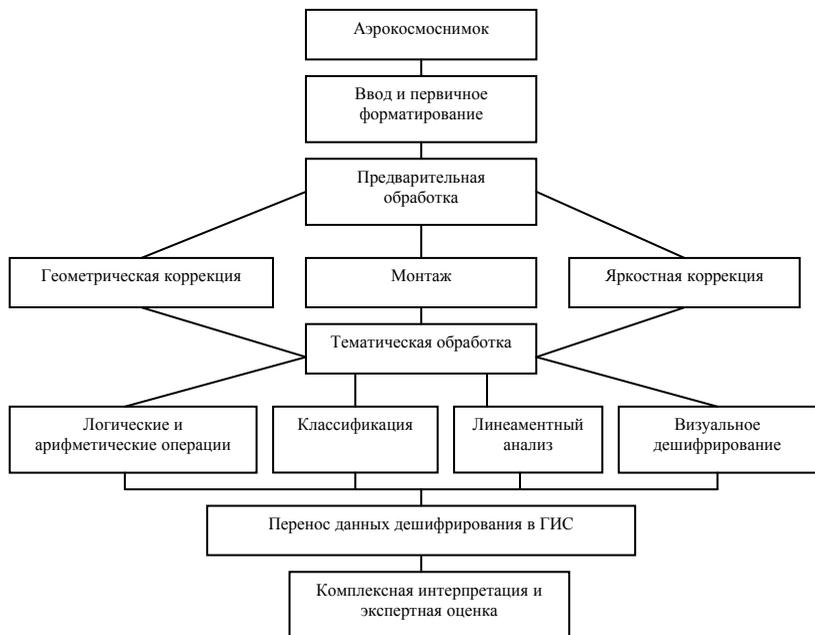
## Глава 1. Теоретические основы геоморфологического дешифрирования

### *1.1. Дешифрирование как метод исследования природных объектов.*

*Дешифрирование* — метод изучения и исследования объектов, явлений и процессов на земной поверхности, который заключается в распознавании объектов по их признакам, определении характеристик, установлении взаимосвязей с другими объектами [23, С. 7].

Дешифрирование снимков является важным этапом процесса картографирования, а при картографировании с использованием космической информации процесс дешифрирования является преобладающим. Дешифрирование всегда производится с определенной целью, поэтому можно говорить о различных его видах, таких как ландшафтное, топографическое, геоморфологическое, сельскохозяйственное и др. В данной работе нас интересует геоморфологическое дешифрирование, поэтому в дальнейшем речь будет идти именно о нем.

Принципиальная схема последовательности дешифровочных действий представлена на рисунке 1.



**Рис. 1. Общая технологическая схема дешифрирования снимков (по Д.Е. Смирнову, 2005)**

Рассмотрим более подробно *камеральное дешифрирование*.

Порядок дешифрирования зависит от нескольких факторов, таких как поставленная задача, характер местности, масштаб снимков. При камеральном дешифрировании основным является принцип *эталонного* дешифрирования, который подразумевает, что для распознавания объекта на снимке необходимо знать, какими признаками обладает его изображение. Для этого необходим пример (эталон). Дешифровщик сравнивает изображение на снимке с эталоном и, находя похожие признаки, относит объекты на снимке к тому или иному классу. В качестве эталонов могут использоваться тематические карты территории, аэроснимки или результаты полевых работ. При географическом дешифрировании типично использование в качестве эталонов материалов специально выполненных полевых наблюдений.

Камеральное дешифрирование по эталонам выполняется способом географической интерполяции и экстраполяции. Произво-

дится экстраполяция установленных свойств объектов на другие участки с аналогичным изображением. От выбора эталонных участков в значительной степени зависят результаты всего процесса дешифрирования [23, С. 96]. В нашем случае в качестве эталона взята схема геоморфологического районирования дельты Лены, выполненная на основе данных полевых исследований (Приложение 1) [4] и широтного участка долины Оби.

Признаки, по которым объекты распознаются на снимках, называются *дешифровочными*. Собственные свойства объекта съемки, которые находят непосредственное отображение на снимках, называют *прямыми дешифровочными признаками*. К ним относят:

- геометрические (форма, тень, размер);
- яркостные (фототон или уровень яркости, цвет, спектральный образ);
- структурные (текстура, структура, рисунок) [23, С. 60].

Кроме того, прямые признаки делят на однозначные, двужначные и многозначные.

*Однозначные признаки* могут либо присутствовать, либо отсутствовать на изображении и не имеют иных свойств. Эти признаки дают наиболее надежный результат при дешифрировании [29, С. 177]. К однозначным признакам относится *форма* изображения — основной прямой признак. Для объектов природного происхождения типична неправильная, часто сложная форма. Прямолинейные же границы обычно обусловлены геологическим строением и приурочены к тектоническим трещинам или разрывным нарушениям. Округлая форма характерна для геологических структур и связана с вулканической, с тектономагматической деятельностью или с брахиформными деформациями. Овальная или округлая форма характерна для термокарстовых западин или озер [23, С. 64]. Фестончато-зональные формы на снимках означают зоны сжатия, дуговидные системы — надвиги, шарьяжи, а веерообразные формы характерны для конусов выноса и речных дельт.

*Тень* является признаком, позволяющим судить о пространственной форме объектов на одиночных снимках. Различают собственную тень — часть объекта, не освещенную солнцем, и падающую — тень от соседних объектов. Тень играет существен-

ную роль как дешифровочный признак рельефа на крупномасштабных снимках, при переходе к мелким масштабам ее значение снижается. На среднемасштабных КС изображаются лишь тени горных хребтов и облаков [23, С. 66].

*Двузначные признаки* обладают интенсивностью процесса. Такими признаками являются: тон на черно-белых снимках (светлее — темнее) и размер (больше — меньше) [29, С. 178].

*Размер* — не совсем надежный признак. Поэтому при дешифрировании чаще используются не абсолютные, а относительные размеры объектов.

*Фототон* называют оптическую плотность изображения на черно-белых фотоотпечатках при визуальном анализе. Фототон является функцией интегральной или зональной яркости. На цифровых снимках интегральная или зональная яркость закодирована уровнями яркости шкалы, состоящей обычно из 256 ступеней.

На цветных снимках различия в спектральной яркости объектов отображаются цветом. *Цвет* относится к *многозначным признакам*, так как он описывается многими параметрами: насыщенностью, светлотой, яркостью [29, С. 178].

На многозональных снимках различия в спектральной яркости объектов отображаются набором уровней яркости в зонах, которая называется *спектральным образом*. Спектральный образ — система набора яркостных характеристик, создающих дискретную целостность распознаваемого объекта. Все яркостные дешифровочные признаки связаны с одним и тем же свойством объектов — *спектральной отражательной способностью*. Земная поверхность представляет собой совокупность элементов, различающихся по своим отражательным свойствам, т.е. по различию отражения солнечного излучения в различных участках спектра электромагнитных волн. Знание особенностей спектральной отражательной способности объектов — необходимое условие правильного подхода к дешифрированию снимков, лучшего понимания дешифровочных признаков. Так, спектральная яркость горных пород зависит от оптических свойств входящих в их состав минералов и химических элементов. Оптические характеристики почв очень существенно зависят от влажности, а также от гранулометрического состава — с уменьшением размера частиц коэффициент яркости возрастает [23, С. 21].

*Текстура изображения* — это сочетание элементов изображения на низшем уровне, воспринимаемых как различия в яркости, неопределенной формы. Более крупные элементы на снимке, у которых распознаются форма и размер, образуют *структуру изображения*. Однородные структуры по форме можно называть зернистыми, пятнистыми, полосчатыми, сетчатыми, а добавляя характеристику размера — мелкозернистыми, среднепятнистыми и т.п., можно различать их площадное распространение. Регулярная структура изображения типична для антропогенных объектов, большинство же природных образований имеют нерегулярную структуру изображения [23, С. 70].

Несколько разных структур часто формируют довольно устойчивые сочетания, типичные для определенных объектов, называемые *рисунком изображения*. Так как рисунок изображения передает строение природных комплексов различной сложности, он называется *прямым ландшафтным* (или *комплексным*) признаком [29, С. 176] и представляет собой сочетание изображений объектов и их частей определенной формы, размера и цвета, дополняя его новым свойством — пространственным распределением элементов изображения, их размещением, повторяемостью. Рисунок изображения считают надежным дешифровочным признаком. Он является отражением реально существующих ландшафтных рисунков, горизонтальной ландшафтной дифференциации, и обычно определяется рельефом местности.

Структурные признаки тесно связаны с масштабом снимка. Рисунок изображения на снимках разного масштаба и разрешения соответствует рисунку природно-территориальных комплексов разного ранга, границы которых в свою очередь определяются морфологией земной поверхности.

Помимо прямых, дешифровщик использует также *косвенные признаки*, которые указывают опосредованно через одни объекты и их свойства на наличие других объектов, явлений и их особенностей, не получивших отображения на снимках. В качестве косвенных обычно выступают прямые дешифровочные признаки других объектов, называемых индикаторами. Дешифрирование с их помощью называют *индикационным*. Объекты, дешифрированные косвенно, затем сами используются как индикаторы, создавая сложную цепь логических связей [29, С. 179].

Можно условно выделить три группы индикаторов:

- объектов (выявляются объекты, не изображенные на снимке);
- свойств объектов (определяют скрытые свойства отчетливо читающихся на снимке объектов);
- движения или изменений (позволяют выявить наличие движения или временных изменений по материалам одной съемки).

Роль косвенных дешифровочных признаков тем больше, чем мельче масштаб снимков и больше охват территории. Физико-географическое дешифрирование осуществляется преимущественно по косвенным признакам [23, С. 78].

В качестве индикаторов, в зависимости от географических условий, могут выступать отдельные компоненты природной среды, называемые *частными индикаторами*. Чаще всего это растительность и рельеф. Деление объектов на индикаторы и индицируемые условно. Например, на равнинах растительность служит индикатором рельефа, а в горных районах, наоборот: абсолютная высота и экспозиция склонов определяют характер почвенно-растительного покрова и служат косвенными признаками для распознавания растительности на снимках.

В других случаях дешифрирование может выполняться по *комплексным индикаторам*, т.е. по облику природно-территориальных комплексов. В этом случае говорят о ландшафтном методе дешифрирования (или *ландшафтной индикации*). Его сущность заключается в распознавании природно-территориальных комплексов (ПТК) по всей совокупности признаков, имеющихся на снимке, для дальнейшего выявления, изучения и картографирования отдельных составляющих ландшафта, например, рельефа. При этом важно иметь в виду тот факт, что индикационные связи действуют лишь в пределах данного ландшафта, поэтому ландшафтно-индикационное дешифрирование обычно начинают с районирования. Затем в пределах каждой из выделенных территориальных единиц выявляют взаимосвязи компонентов ландшафта и определяют индикаторы [23, С. 80].

Индикационное дешифрирование служит также основой для изучения по космическим снимкам географических или геологи-

ческих объектов или процессов. Изучение процессов эволюции основывается на выделении ландшафтно-генетических рядов. В этом случае пространственный ряд ландшафтов служит индикатором их смены во времени. Например, в дельте реки по мере движения от береговой линии в более высокие части идет последовательная смена растительных сообществ [23, С. 82].

### ***1.2. Особенности геоморфологического дешифрирования.***

Объектом геоморфологического дешифрирования являются геоморфологические ландшафты и отображение в их структуре тектонических неоднородностей литосферы. Проанализировав изображение на снимке, можно получить представление о правилах, лежащих в основе организации ландшафта, сформировать гипотезы о порождающих его механизмах. На основе информации космического снимка можно на объективной, генерализованной основе получить геоморфологическую характеристику региона.

Рельеф местности формируется под воздействием эндодинамического, экзодинамического и иногда антропогенного факторов.

**Эндодинамические** процессы выражаются в виде горообразования, разрывных нарушений, сейсмотектонической деятельности, магматизма. Преимуществом космических снимков является то обстоятельство, что благодаря обзорности и генерализации изображения на них отражаются линеаменты, которые трудно обнаружить на аэрофотоснимках и при наземных наблюдениях.

В настоящее время под *линеаментами* понимают линейные фотоаномалии, отображающие неоднородности земной коры и литосферы разного ранга, протяженности, геометрии, глубины и возраста заложения, которые проявлены на земной поверхности прямо (разрывами) или опосредованно, геологическими и ландшафтными аномалиями [20; 36]. Линеаменты могут иметь различные геометрические формы. Чаще всего мы имеем дело с ориентированными или прямолинейными их отображениями. Они ассоциируются с зонами трещиноватости или разрывными нарушениями земной поверхности. Дуговые, кольцевые формы мы называем центрозональными — отображающими симметрию центрального типа. Они характеризуют геологические тела, связанные с вулканизмом и тектономагматическими образованиями [23; 46].

Многие линеаменты являются погребенными разломами складчатого или кристаллического фундамента или трещинными зонами осадочного чехла. Их проявление на снимках объясняется тем, что процессы, происходящие на разных глубинных уровнях литосферы, воздействуют на вышележащие слои, передавая тепловые, флюидно-газовые потоки и механические деформации, что определяет особенности геологического строения субстрата, рельефа и почвенно-растительного слоя [23].

Обычно ориентированные линеаменты образуют достаточно выдержанную сеть из нескольких направлений: ортогонального — широтно-меридионального (0 и 90 градусов) и двух диагональных (300 и 330 градусов), которые согласуются с планетарной трещиноватостью, вызванной ротационными напряжениями литосферы Земли. Эти направления свойственны как горно-складчатым, так и смежным с ними платформенным областям [20].

Линеаменты как объекты картографирования обладают набором диагностических признаков: прямых геологических и геоморфологических, дополнительных геологических, гидрогеологических, геохронологических, геофизических, косвенных физико-географических, геохимических, ботанических и др.

Разрывные нарушения в регионах с умеренно влажным климатом прослеживаются полосами густой растительности с преобладанием влаголюбивых растений, нередко с резкой сменой видов растительности, типов почв, ареалов обитания некоторых видов животных. В аридном климате линеаменты можно увидеть на снимках в весенний пик развития травяной растительности, развивающейся по обводненным зонам в геологическом субстрате. Они получили название *мерцающих структур*.

Геологические признаки линеаментов представляют собой выходы на земную поверхность разрывных нарушений и их прямых картировочных признаков: интрузивно-дайковых протяженных зон, поясов, собственно разломов, трещин, жил и т.п., трассирующихся линеаменами.

Геоморфологические признаки линеаментов — это следы дизъюнктивных дислокаций земной коры на ее поверхности, представленные пространственно упорядоченными линейно ориентированными формами рельефа. Например, зонами, образованными прямолинейными границами горных хребтов, берегов морей, озер,

цепочками просадок различного генезиса, спрямленными участками речных долин [20]. Последний признак объясняется тем, что вдоль разломов, являющихся зонами повышенной трещиноватости пород, обычно закладываются речные долины, чему способствует концентрация в них поверхностных и подземных вод.

Разрывные нарушения играют важную рельефообразующую роль, часто ограничивая структурно-геоморфологические области. Зоны активных разломов изображаются в виде полос, где происходит резкая смена текстуры и структуры изображения. Изучение смены фототональности снимков равнинных и горных районов позволяет выявить крупные черты структурно-геоморфологической дифференциации.

По нарушению молодых форм рельефа и четвертичных отложений дешифрируются активные разломы [30]. Четкость проявления и ширина линейной аномалии зависят от глубины заложения разлома (мощности перекрывающих образований) и его активности. Чем ближе к поверхности расположен разлом и выше его тектоническая активность, тем отчетливее он проявляется на космоснимке [20].

При выполнении линеаментного анализа главным критерием эффективности применяемых методик является достоверность полученных результатов — подтверждаемость геологическими наблюдениями прямой связи линеаментов с разрывными нарушениями в земной коре и геофизическими аномалиями на ее поверхности.

Линеаментный анализ осуществляется в нескольких этапах:

- подготовительный;
- картографический;
- интерпретационный;
- заключительный.

*Подготовительный этап* в линеаментном анализе имеет определяющее значение, даже в большей мере, чем собственно геометризация линеаментов. На этом этапе выполняется наиболее трудоемкий комплекс работ, включающий обеспечение копиями топографических карт и оптимизированных к решаемой задаче аэрокосмических снимков, оконтуривание опорных площадей, сбор и

систематизацию материалов структурно-геологических, геоморфологических, дистанционных и других работ прошлых лет;

*Картографический этап* заключается в геометризации линеаментов с составлением карт их распределения. Он включает дешифрирование элементов ландшафтов на аэрокосмических снимках, геометризацию линеаментов с определением пространственной упорядоченности и изменчивости простирания типовых форм рельефа (качественный анализ), анализ морфометрических параметров (количественный анализ) — частот, плотностей, гипсометрических параметров и т.д., и обобщение результатов в виде графических материалов.

*Интерпретация* полученных линий по комплексу признаков, характеризующих линеаменты, заключается в различении собственно линеаментов от элементов ландшафта, имеющих нетектоническое происхождение (например, эрозионное, не имеющее какой-либо связи с геологическими структурами); в проверке и уточнении полученных результатов (при возможности — организации полевых наблюдений); в ранжировании линеаментов и их окончательном картографическом оформлении.

На *заключительном этапе* исследований проводится статистическая обработка количественных данных, их сравнительный анализ с материалами геолого-структурных наблюдений разломов и систем трещиноватости [30; 36].

Стоит упомянуть о том, что в настоящее время существуют программные средства, позволяющие выполнять автоматизированное выделение и статистическую обработку ориентированных линеаментов, в частности, программа WinLESSA. LESSA — Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis — это методика автоматического поиска линейных элементов и анализа их ориентации, расположения, при этом сначала выявляются линейные элементы («штрихи»), и уже по ним рассчитываются розыдиаграммы и строятся линеаменты [10]. Однако в рамках данного исследования эта технология не применялась. Выделение линеаментов производилось, как показывает практика, более надежным способом — визуально, или интерактивно, при дешифрировании экранного изображения.

*Экзодинамические* процессы на снимках отображаются в виде разной степени расчленения эрозией исходной поверхности вы-

равнивания, различных аккумулятивных форм разного происхождения. Для каждого региона (полигона) можно выявить типичную внутреннюю структуру и спектральные особенности, иллюстрирующие главные закономерности, организующие ландшафт, и затем охарактеризовать такие участки, которые концентрируют максимальную информацию о том или ином полигоне [11]. Именно это свойство наиболее типичных участков используется для составления обучающих выборок при автоматизированном дешифрировании.

На геоморфологических картах мелких (обзорных) масштабов от 1:2 500 000 и мельче речные дельты и береговые области, связанные с деятельностью рек, обычно показываются в пределах одних и тех же геоморфологических границ как аллювиальные, дельтовые, аллювиально-морские и морские части прибрежной равнины. В некоторых случаях, согласно этим картам, получается, что дельты не видны совсем [15, С. 80].

Для крупномасштабного картографирования необходимо разделение дельтовых равнин на разновозрастные и генетически неоднородные участки. Принципиальная основа данного разделения необходима для целей геоморфологического картографирования арктических дельт. Геокриологические признаки заложены в природе взаимосвязей мерзлых пород с рельефом, растительностью, литологией, что определяет условия промерзания и протаивания. При этом внимание сосредотачивается на наиболее существенных особенностях и характерных чертах объектов, имеющих устойчивые прямые и косвенные признаки дешифрирования, что характерно для речных дельт. Снимки фиксируют определенный этап развития рельефа и ландшафтов и соответствующий ему характер многолетнемерзлых пород. Формы проявления этих закономерностей меняются в зависимости от конкретных природных условий и различаются в западных и восточных секторах арктического побережья Сибири, а также при продвижении от вершины дельты к ее морскому краю. Однако общие принципы дешифровочных признаков остаются неизменными, так как криогенное строение рыхлых четвертичных отложений зависит в первую очередь от генезиса, литологического состава и условий промерзания. Последнее качество имеет прямую связь с влажностным режимом, определяющим все своеобразие промерзания и

непосредственного проявления мерзлотных форм на поверхности дельтовых островов и поймы [15, С. 84].

Эффективность дистанционных исследований рельефа обусловлена большой обзорностью и реальностью наблюдаемого объекта, высокой разрешающей способностью и генерализацией на снимках изображений земной поверхности. Преимуществами этого метода являются удобство и сравнительно высокая скорость производства работ, а также возможность многократного повторения экспериментальных действий. Кроме того, выявив скрытые закономерности, присущие изучаемому объекту, можно получить новые сведения, недоступные при исследовании иными методами.

На снимках разных масштабов (или разного пространственного разрешения на местности) отображаются объекты разных иерархических уровней, поэтому необходимо учитывать то обстоятельство, что новые сведения (знания) можно получить лишь при анализе в меру обобщенной модели. Многие сложные объекты на дистанционных снимках обнаруживаются лишь в силу большой генерализации изображения.

### ***1.3. Основные методы дешифрирования и оценка надежности результатов.***

Камеральное дешифрирование сводится к двум основным методам: визуальному и автоматизированному.

*Визуальный метод* подразумевает то обстоятельство, что дешифровщик извлекает информацию путем визуального анализа экранного или бумажного изображения. При этом он воспринимает, прежде всего, пространственную информацию. Яркостные различия оцениваются на качественном уровне; используются в первую очередь такие дешифровочные признаки, как форма, рисунок изображения, а также косвенные признаки и личный опыт оператора.

*Автоматизированный метод* подразумевает выполнение математических процедур, позволяющих сгруппировать объекты по строго определенному признаку. В качестве такого признака на многозональных снимках используют набор значений яркости, называемый *спектральным образом*.

Анализ изображения ведется на уровне отдельного пикселя (элементарной единицы яркости) [23, С. 123]. На многозональном

снимке каждый пиксель представлен точкой с координатами, равными значениям уровней яркости в каждой из спектральных зон (если мы имеем дело с материалами многозональной съемки). Совокупность таких значений всех пикселей образует пространство спектральных признаков. Их необходимо классифицировать по степени спектральной яркости.

Классификация объектов предполагает разделение пространства признаков на замкнутые классы. Отнесение пикселей к тому или иному классу зависит от принятого правила классификации. При этом возможны два подхода: неконтролируемой и контролируемой классификации.

**Неконтролируемая классификация.** При этом подходе группировка пикселей с сопоставимыми уровнями яркости в каждой из спектральных зон осуществляется без предварительного знания числа и характеристик классов. В задачу дешифровщика при этом подходе входит последующее соотнесение выделенных классов с характеристиками земной поверхности, которое выполняется с использованием дополнительной информации. При этом типе классификации могут применяться несколько алгоритмов.

а) Наиболее простой *алгоритм быстрого выделения классов*, или кластеров, применяется для предварительной классификации объектов (алгоритм одного подхода).

б) *Итерационный алгоритм последовательной кластеризации* выполняется часто после алгоритма быстрого выделения кластеров. В отличие от первого алгоритма, он требует задания числа кластеров, значений их центров или числа итераций (повторений) [23, С. 137].

Далее рассмотрим более подробно другой подход, который применялся при выполнении данного исследования.

**Контролируемая классификация.** Этот метод включает в себя несколько этапов. *Первый этап* заключается в определении классов объектов, которые будут выделены в результате выполнения классификации. Это могут быть виды внешних географических объектов: растительность, гидрографические объекты и т.д. В нашем случае это геоморфологические объекты.

На *втором этапе* формируется обучающая выборка: для каждого из классов объектов выбираются типичные для него пиксели. Для этого на снимке, на основе таких источников, как мате-

риалы полевых работ или уже отдешифрованные снимки, выбираются эталоны, т.е. фрагменты изображения, однозначно относящиеся к своему классу объектов. Затем в пределах изображения эталонного объекта осуществляется выбор участков размером в несколько пикселей. Выбираются именно группы пикселей, а не один отдельный пиксель, поскольку процесс классификации ведет к пространственному сглаживанию, осреднению значений яркости в пределах класса. Обучающая выборка должна составлять 1-5% всех пикселей снимка, а количество относящихся к одному классу пикселей должно быть не меньше 20-30.

*Третий этап* — вычисление параметров, значений спектральной яркости каждого из классов. Набор параметров зависит от алгоритма, который предполагается использовать для классификации. В алгоритмах контролируемой классификации используются два подхода: детерминированный и статистический.

*Детерминированный подход* применяется, когда классы объектов не пересекаются в пространстве признаков. Однако спектральные характеристики природных объектов довольно близки и частично пересекаются. Поэтому целесообразнее использовать классификации, основанные на *статистическом подходе*. Они позволяют учитывать вариации признаков и допускают отнесение пикселей к другим классам, если частота их появления относительно мала.

*Четвертый этап* — собственно процедура классификации, т.е. «просмотр» всего изображения и отнесение каждого пикселя к тому или иному классу. Существует несколько методов классификации:

а) *Метод классификации по минимальному расстоянию между пикселями*, основанный на детерминированном подходе. Обучающая выборка используется для вычисления средних значений яркости для каждого класса. Для каждого пикселя вычисляются расстояния до центров (средних значений яркости) классов, затем ему присваивается название того класса, расстояние до которого минимально.

б) *Метод параллелепипедов*, основанный на статистическом подходе. Классификация всех пикселей снимка заключается в отнесении каждого из них к тому классу объектов, в интервал значений яркости которого он попадает. Поскольку область распреде-

ления значений спектральных признаков каждого из классов имеет четкие рамки, на снимке могут оказаться пиксели, не попадающие ни в одну из областей (неклассифицированные пиксели).

в) *Метод максимального правдоподобия* основан на статистическом подходе. Смысл метода заключается в определении вероятности попадания пикселя в тот или иной класс. По обучающей выборке вычисляются элементы ковариационной матрицы и центр каждого из классов, затем анализируется положение пикселей изображения. Для этого алгоритма характерно отсутствие неклассифицированных пикселей, как и для алгоритма минимального расстояния [23, С. 139].

Результатом классификации является изображение, называемое «картой классификации», а также таблица, в которой даны координаты пикселя и имя класса, к которому он отнесен. Безошибочность результатов, отсутствие ложной информации характеризует такой показатель, как *достоверность дешифрирования*. Она может быть оценена как условная вероятность, но чаще определяется как доля объектов, правильно отдешифрированных, отнесенных к одному классу. При дешифрировании цифровых снимков можно оценить не число объектов, а их площадь, т.е. долю правильно классифицированных пикселей. Для этого необходимо сопоставить результаты дешифрирования с некоторыми эталонными, истинными данными, полученными из полевых исследований, и затем составить матрицу ошибок [23, С. 161].

В нашем случае для оценки достоверности результатов дешифрирования мы использовали геоморфологическую схему дельты Лены, составленную по результатам полевых исследований и представленную в монографии Большакина Д.Ю. и др. (2013) [4] (Приложение 1).

Оценив точность методики и выбрав наиболее достоверный способ, мы применили его для геоморфологического дешифрирования снимков территории дельты Яны, для которой до сих пор не разработана подробная геоморфологическая карта. Такая предварительная оценка позволяет получить максимально точный для камеральных условий результат.

Этот способ можно применять к оценке результатов как визуального, так и автоматизированного дешифрирования. По матри-

це ошибок можно судить о достоверности каждого конкретного объекта (класса) и о достоверности дешифрирования в целом.

Критерием качества классификации в целом служит доля правильно отдешифрированных объектов. Она вычисляется путем деления суммы правильно определенных объектов (или пикселей), располагающихся на диагонали матрицы, к общему числу проверенных объектов (пикселей). Это наиболее широко используемый в практике показатель [23, С. 162].

#### ***1.4. Составление итоговой карты.***

Конечной целью и результатом геоморфологического дешифрирования является создание карт: геоморфологической и геоморфологических районов.

Карты геоморфологических районов отображают рельеф с индивидуальными признаками, присущими каждой из выделяемых частей земной поверхности и отличающими ее от других территорий [8, С. 392]. Такие карты по степени обобщения относятся к синтетическим картам, которые характеризуют рельеф в сводных показателях, синтезирующих ряд его частных особенностей.

Как было сказано выше, результатом классификации является изображение, называемое «картой классификации». Однако чтобы получить конечную карту, необходимо выполнить ряд дополнительных действий, поскольку разделение объектов при классификации основано на их яркостных свойствах, а на карте — по их сущности. Кроме того, карта классификации лишена картографической генерализации.

Для того чтобы улучшить восприятие полученного изображения, нужно провести *фильтрацию*. Суть ее заключается в том, что одиночным пикселям присваивается имя класса, преобладающего среди соседних пикселей, при этом исчезает излишняя пестрота изображения.

Поскольку исходный снимок и результаты автоматизированной обработки представлены в растровом формате, необходимо провести *процедуру векторизации*, которая осуществляется либо вручную, при оцифровке экранного изображения, либо автоматически, когда происходит автоматизированное оконтуривание всех пикселей, различающихся по присвоенному значению класса с соседними. В процессе векторизации не предусматривается

обобщение, поэтому необходимо редактирование полученных контуров [23, С. 145].

На картах и геоморфологических схемах речных дельт, формирование которых происходит в зоне взаимовлияния речных и морских факторов, основные типы рельефа и их возраст принято выделять фоновой окраской и индексами, а формы рельефа и их элементы — штриховкой и значковыми изображениями. Флювиальным формам отведена зелено-желтая гамма цветов, морским — сине-голубая [15, С. 82].

## ЧАСТЬ II. ПРИРОДНАЯ СРЕДА РЕГИОНОВ ДЕЛЬТ РЕК ЛЕНЫ И ЯНЫ

### Глава 2. Характеристика районов исследования

Территории дельт рек Лены и Яны были выбраны для данного исследования, поскольку находятся в сопоставимых климатических условиях, подвергались воздействию одних и тех же факторов в процессе своего развития. Равнинный рельеф этих территорий был сформирован в голоцен-позднечетвертичное время в процессе трансгрессивно-регрессивной геодинамики береговой полосы Полярного бассейна, оледенения, мерзлотных процессов в условиях дифференцированных слабо проявленных новейших тектонических движений [15, С. 97].

#### 2.1. Дельта реки Лены.

##### *Географическое положение и климат.*

Дельта Лены занимает площадь около 29 630 км<sup>2</sup> (за вершину дельты принимается о. Тит-Ары) и представляет собой выдвинутый в море Лаптевых полуостров со сложным строением. Лопасть дельты простирается на 190 км с юга на север и на 250 км с запада на восток [4, С. 9].

Климат района суровый, морской полярный. Вся территория находится далеко за Полярным кругом, и потому для нее характерно незаходящее летом солнце (полярный день), а зимой — полярная ночь. Средняя годовая продолжительность солнечного сияния для южной части дельты составляет 1 272 часа (в Тикси — 1 369 часов). Радиационный баланс с начала октября по март включительно отрицательный, его максимальные значения приходятся на 3 летних месяца (8,3; 8,6; 4,6 ккал/см<sup>2</sup> соответственно) [1].

В зимнее время на территории дельты преобладают южные и юго-западные ветры, а с апреля по август — северные и северо-восточные. Число дней с сильным штормом составляет около 15 в год. Климат дельты Лены по средним показателям суровее климата верховья Яны. Самые низкие средние температуры наблюдаются в дельте в январе (минус 34 на юге и минус 31,8 — на севере). Абсолютный минимум температуры за все время наблюдений — минус 53° — зафиксирован в феврале. Лето прохладное, с

нередкими заморозками и снегопадами. Самый теплый период — вторая половина июля и первая половина августа. Средняя продолжительность безморозного периода на севере дельты 40, а в южной части — 45 дней. Относительная влажность воздуха велика в течение всего года. Ее средние месячные величины составляют 78-93%. Низкие температуры воздуха и высокая относительная влажность — причина большого числа дней с туманами и значительной облачностью (среднегодовой показатель около 7 баллов).

Устойчивый снежный покров на всей территории дельты и прилегающих гор образуется в последней декаде сентября. Продолжительность периода со снежным покровом составляет 250-270 дней, а средняя его мощность — 25-35 см. Распределение покрова неравномерное, часто встречаются участки, лишенные снега. Это, прежде всего, плоские поверхности, откуда снег сдувается полностью, зато в понижениях и под обрывами накапливаются снежные массы мощностью до 5 м. Первые проталины на островах дельты появляются в середине мая. Снег сходит в первой декаде июня, а с окружающих гор — на полмесяца позже. На северных склонах гор снег сохраняется до середины июля, а некоторые снежные надувы остаются до следующей зимы [1].

#### *Гидрология.*

В горной части Лена течет одним руслом шириной 2,5-3 км, а в так называемой Ленской устьевой трубе, сжатой отрогами гор, — не более 1,5 км. При выходе в устьевую область — от острова Тит-Ары — основной поток реки разбивается на многочисленные рукава и поперечные протоки, образуя обширную дельту. Наиболее крупные протоки — Арынская (длиной 178 км), Трофимовская (148 км), Быковская (106 км), Большая Туматская (155 км) и Оленекская (210 км). Большая Туматская протока по направлению течения служит продолжением главного русла Лены. Для судоходства в настоящее время используются на всем протяжении только Быковская и Оленекская протоки.

Густота речной сети горного участка невелика и составляет 0,15-0,20 км/км<sup>2</sup>, увеличиваясь в дельте до 0,20-0,26 км/км<sup>2</sup>. Общая длина речных рукавов в дельте составляет 6 500 км, из них свыше 1 000 водотоков с суммарной длиной 2 930 км находятся в северо-западной части дельты (о. Арга-Муора-Сисэ).

Река Лена по водоносности занимает второе место среди рек России и девятое — среди рек мира. Средний расход воды в ее устье — около 17 тыс. м<sup>3</sup>/с.

Дельта Лены изобилует мелкими и глубокими озерами, общая площадь которых составляет 253 712 га. Наиболее богата озерами северо-западная часть дельты, где общая площадь озер составляет 134 000 га. Озера дельты Лены в основном термокарстового и пойменного происхождения. Большинство из них представляют собой заполненные водой мерзлотные полигоны и имеют форму многоугольников, часто соединенных друг с другом небольшими узкими протоками и рукавами дельты. На островах дельты довольно широко распространены также и крупные, но мелководные старичные озера. Глубина большинства озер разнообразная: от 0,2-1 до 10-15 м, а некоторых (оз. Николай-Кюэль) достигает 26 м. Берега озер либо крутые и высокие, либо низкие и заболоченные (что бывает чаще). Дно у большинства озер имеет гладкую ледяную поверхность, прикрытую торфянистым илом. Температура воды низкая; вода пресная, иногда с запахом гнили от разлагающихся растительных остатков.

Вдоль морского побережья дельты сравнительно часто встречаются озера лагунного типа. Береговая линия дельты изобилует заливами.

Повсеместное распространение неглубоко залегающей вечной мерзлоты<sup>1</sup> способствует широкому развитию на территории дельты арктических минеральных болот. Общая площадь болот составляет 1 681 38 га [1]. Восточная часть дельты почти сплошь покрыта полигонально-валиковыми болотами, занимающими большие площади и в юго-западной части дельты. Полигоны заполнены водой, частично заняты зарослями осоки прямостоячей, пушиц: узколистной и Шейхцера, арктофилы рыжеватой. Полигонально-валиковые болота встречаются также на островах Дунай, Куба-Арыгта и вдоль побережья острова Арга-Муора-Сисэ.

На островах-останцах Приморской равнины (Кубалах-Хайа, Орто-Хайа, Америка-Хайа) широко распространены бугристомочажинные болота [1].

---

<sup>1</sup> Возраст которой соизмерим с геологическим веком.

### *Геологическое строение и рельеф.*

Особенности геоморфологии придельтового участка долины Лены и строение рельефа дельты определяются главным образом геологическим строением, новейшими тектоническими движениями и климатом.

Согласно карте тектонического районирования, большая часть дельты Лены расположена в мегазоне остаточного океанического бассейна в шовном надвиговом поясе в Лаптевской пассивно окраинной области (Приложение 2) [33].

В геологическом отношении устьевая область реки Лены располагается в северо-восточной части плитного рифей-вендского чехла древней Сибирской платформы, на востоке — в пределах мезозоид Хараулахской ветви Западно-Верхоянской складчатой области, на севере — в Момской зоне кайнозойской рифтовой системы моря Лаптевых. Краевые депрессии Сибирской платформы имеют более молодой возраст: поздний палеозой — мезозойский. Длительность геологической истории определила большой возрастной диапазон развитых здесь вулканогенно-осадочных отложений от рифейских до современных включительно.

Предполагается, что для рифея преобладающими условиями были условия субгоризонтального растяжения и сжатия. В раннем рифее на северо-востоке Сибирской платформы формировались красноцветные и терригенно-вулканогенные отложения. На завершающем этапе — преимущественно терригенно-карбонатные.

В нижнем венде отложения сформировались в условиях трансгрессии, базальные их слои (0—200 м) песчано-глинистого состава повсеместно залегают на подстилающих отложениях. С этим стратиграфическим горизонтом связаны вулканогенные образования (туфы, тефроиды, базальтовые лавы, эксплозивные брекчии) щелочно-ультраосновного состава, связываемые с двумя эпохами вулканизма [24].

В пределах южной части современного моря Лаптевых с начала палеозоя и вплоть до турнейского века каменноугольного периода этот район представлял собой мелководный морской бассейн, в котором накапливались терригенно-карбонатные отложения относительно небольшой мощности. На большей части востока Сибирской платформы в девоне имели место региональные поднятия суши, происходили активные структурные преобразо-

вания — появление Сапыйского поднятия и сопряженной с ним депрессии в пределах шельфа моря Лаптевых, возможно, в этот период проявился рифтогенез [24].

В геоморфологическом отношении дельта Лены находится в пределах одной геоморфологической области — Приморской низменности. Южная граница дельты образуется в размытых реками и протоками останцах структурных поверхностей Верхоянской геоморфологической области — Хараулахских гор и кряжа Чекановского. Граница дельты здесь проходит по Центральной части Усть-Ленской блоковой структуры и по южному краю Хардангского прогиба, пересеченных серией разломов и сбросов верхнечетвертичного возраста.

Прилегающий к дельте Лены участок Хараулахских гор обладает мягкими очертаниями форм рельефа. Отдельные гряды и сопки разделяются долинами рек и довольно широкими озерно-холмистыми низинами, сформировавшими аккумулятивный рельеф низин при таянии покровных льдов. Особую роль в формировании рельефа и рыхлого покрова играет эрозионная и аккумулятивная деятельность Лены и ее притоков. Результатом эрозионной деятельности являются широкая и глубоко врезанная долина Лены и узкие, но тоже глубокие долины ручьев на ее бортах. Широкое распространение имеют и более мелкие эрозионные формы, создаваемые временными водотоками: эрозионные щели, борозды, рывины, промоины и овраги. На поверхности водоразделов и склонов довольно часто встречаются каменные и щебнистые россыпи, а также останцы, качающиеся камни, ниши, карнизы, каменные столбы. Широко распространены формы рельефа, обязанные своим происхождением криогенным процессам: морозбойные трещины, ледяные жилы, полигоны, сезонные и многолетние бугры пучения и др. Морозбойные трещины чаще всего развиваются на водоразделах и пологих склонах. Трещинные полигоны образуют многоугольники размером от десятков сантиметров до десятков метров. Трещины, как правило, заполнены ледяными жилами, иногда покрыты сверху водой, мхом и торфом. Каменные полигоны (многоугольники) окружены со всех сторон каменными валиками из валунов, гальки и щебня. Широкое распространение имеют отрицательные формы рельефа, обязанные своим происхождением термокарсту: блюдца, воронки,

ложбины до 1-3 м глубиной, термокарстовые котловины и т.д. Не является редкостью для горного участка и проявление карстовых процессов, в результате чего образуются различные по форме и размерам как поверхностные, так и подземные карстовые полости. Самые крупные формы открытого карста представлены воронками шириной от 10-15 до 50 м и глубиной до 20-30 м.

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 руслах и отмирание второстепенных проток [15].

Основная часть площади аллювиально-дельтовой равнинной территории, являющаяся собственно дельтой, представлена выдвинутыми в море конусами выноса дельтовых рукавов. Считается, что дельта Лены образовалась в результате выноса рекой и объединения наносов и эрозии более древних форм рельефа в условиях колебаний уровня моря и тектонических движений земной коры [4, С. 9]. Дельта Лены включает в себя несколько голоценовых дельт (Оленекская, Сардахская, Трофимовская, Туматская, Быковская) и останцы коренных пород девона (г. Америка-Хая, г. Кубалах-Хая, о. Орто-Хая, о. Столб) в южной части дельты. В отличие от рыхлых современных отложений дельты, эти останцы сложены в основном песчаниками и известняками коренных пород.

Таким образом, в границы дельты попадают территории трех геоморфологических районов:

- 1) низменная дельтовая равнина (разновозрастная аллювиально-морская терраса);
- 2) прибрежная аллювиально-морская терраса острова Арга;
- 3) останцовая поверхность, сложенная породами ледового комплекса (едома).

1. Первая терраса дельты Лены разновозрастна в разных частях дельты. Ее возраст колеблется от 8 тыс. лет в центральной части, до сотен лет на северном ее побережье. Высота террасы

понижается от 10-12 м в центральной части до 0,5-1 м в прибрежных частях дельты. Она сложена песчаными отложениями и растительной «слоённой», состоящей на 90-100% из мохового растительного детрита. Ранее происхождение первой террасы связывалось с деятельностью реки Лены, но по результатам последних исследований [4, С. 145] образование этой террасы связано с колебаниями уровня моря (аллювиально-морская терраса).

Наиболее древней частью первой террасы являются острова, находящиеся на границе Арынской и Туматской протоков (центральная часть дельты). Возраст террасы здесь составляет 8 570 лет, а высота островов достигает 8 м. Другой крупной составной частью первой террасы является массив островов Оленёкской и Арынской протоков (западная часть дельты), его формирование началось около семи тысяч лет назад, а острова имеют высоты 10-12 м. Туматский конус выноса имеет возраст 2,5-3 тыс. лет. Острова в этой части дельты имеют высоту 7-8 м, а в прибрежной 1-1,5 м. Сардахский, или Сардахско-Трофимовский, конус начал формироваться 4 тыс. лет назад. Высоты островов достигают 10-12 м. Самое молодое образование в дельте — острова Быковской протоки высотой до 10 м, возраст которых не превышает 1,5 тыс. лет [4, С. 147].

Также выделяется пойменная терраса высотой до 7 м возрастом менее 200 лет. Современные дельтовые острова формируются путем постепенного повышения песчано-илистых отмелей на морском крае или при прорыве излучин протоков и спрямления русла. Отмели постепенно превращаются в надводные пески, которые покрываются злаковой растительностью, закрепляющей их поверхность от деятельности ветра. Наличие растительности способствует удержанию на поверхности молодых островов и речных наносов, что способствует постепенному росту островов в высоту. С накоплением органических остатков и нарастанием мохово-дерновых и торфяных поверхностных слоев увеличивается количество влаголюбивых растений, особенно мхов. Мощность деятельного слоя уменьшается, и возникает типичная тундра, подверженная морозобойному растрескиванию и другим криогенным процессам.

На поверхности первой террасы протекают различные мерзлотные процессы, в частности, образование ледяных жил, что, в

свою очередь, приводит к формированию мерзлотных тундровых полигонов. Полигоны по периметру окаймлены более или менее выраженными торфяными валиками, при этом центры полигонов заболочены или заняты озерами. По берегам островов ледяные жилы разрушаются процессами летней термоэрозии, образуя гроты или ниши пещерно-жилых льдов. Исключительно на этой террасе встречаются старицы, вытянутые вдоль берегов островов и являющиеся палеоруслуками протоков. Старицы формируются в результате перераспределения стока по рукавам дельты.

2. Свыше 5 000 км<sup>2</sup> площади приходится на более древнюю и высокую северо-западную часть дельты (о. Арга-Муора-Сисэ). Остров представляет собой слабо расчлененный речной сетью останец верхнечетвертичной морской террасы и является останцом обширного геологического тела, образованного на морском мелководье из наносов, принесенных рекой. Затем он был поднят тектоническими движениями и теперь разрушается как речными, так и морскими процессами размыва [4, С. 144]. Высоты этой поверхности достигают 30 м.

Исключительной особенностью ландшафта этой террасы является обилие на ее поверхности озер овальной формы, ориентированных длинной осью в меридиональном направлении. Это самая богатая озерами часть дельты Лены. Из 30 тыс. замкнутых водоемов всей дельты около 22 тыс. находятся именно здесь.

Подавляющее большинство озер имеет сток непосредственно в главную реку, а также в один из ее притоков, либо в соседнее озеро, расположенное с ним на одной линии. Озера занимают лишь большую или меньшую часть озерной котловины. Это является следствием того, что соединение самостоятельных озерных котловин в одну крупную происходит за счет абразии берегов и заноса материалом их разрушения глубокой части озера. При этом зарастание и заболачивание водоема протекают одновременно. В результате две или несколько котловин сливаются в одну обширную впадину, внешние очертания которой убедительно свидетельствуют о пройденном в этом направлении этапе развития. Сами же озера, лежащие в когда-то изолированных котловинах, еще продолжают самостоятельное существование, располагаясь на различных относительных уровнях. Постепенное расширение в широтном направлении озерных котловин в цепочке час-

то приводит к перехвату соседней системы и к увеличению водосборной площади одной из систем за счет полной потери самостоятельности другой.

Речная сеть представлена узкими протоками в цепочке соединенных ими озер. Цепочки располагаются более или менее параллельно друг другу или образуют систему из нескольких цепочек, открывающуюся одним устьем в море. Здесь русла всех рек имеют только меридиональное направление, соответствующее общему наклону террасы на север. Беря начало из озер, реки сложно извиваются в узких крутостенных долинах, только в редких случаях пользуясь днищем захваченной озерной котловины. В основном же речные долины заложены между озерами (как бы избегают их), а цепочки озер являются боковыми притоками, часто имеющими направление стока, противоположное реке, в которую они впадают [7].

Важной особенностью острова является своеобразный микро-рельеф в виде небольших песчаных холмиков со скудной растительностью, которая задерживает перемещение верхнего слоя песков, покрывающих террасу. Пески залегают на слое торфа мощностью от 0,5 до 0,8 м. Однообразный озерно-котловинный рельеф острова местами нарушается булгуньяхами (гидролокколитами). Подобный рельеф имеется также на о. Дьеппере-Сисэ, расположенном между Арынской и Малой Туматской протоками, и в некоторых других местах [1].

Северная часть о. Арга активно разрушается наступающим морем, поэтому северное побережье острова представляет собой глубокие вторгающиеся в сушу заливы, которые развиваются по разрушенным (протаявшим) озерным котловинам. Главным процессом развития заливов выступает термоабразионная деятельность моря.

Западное побережье острова защищено от прямого действия волновых процессов серией береговых баров [4, С. 145].

3. Третья «терраса» представляет собой эрозионные останцы поверхности, сложенной породами ледового комплекса (едома), — фрагменты Приморской равнины, занимавшей в позднем неоплейстоцене все пространство шельфа моря Лаптевых. В настоящее время от нее остались острова Харданг (высота до 52 м), Джангылах (47 м) и Курунгнах (24 м). Нижние горизонты остро-

вов сложены песками, верхние — суглинками с прослойками торфа и включениями остатков мамонтовой фауны. Роль реки в формировании едомы сводится к активному разрушению льда в результате термоэрозии. Поверхность островов расчленена глубокими ветвящимися оврагами и логами [4, С. 142]. Овражное расчленение этой поверхности, благодаря наличию в разрезе клиновидных повторно-жильных льдов, происходит примерно с одинаковой скоростью во всех направлениях. Овраги развиваются в ширину, имеют плоские сильно заболоченные днища и оплывшие склоны, густо покрытые недолговечными байджарахами (байджарахи — центральные части полигонов, оставшиеся после вытаивания ледяных клиньев в виде выпуклых бугров-полигонов). Вершины оврагов представлены широкими циркообразными котловинами с типичными байджарахами на заплывающих склонах и топком дне [7].

На слаборасчлененных поверхностях основных водоразделов обычны термокарстовые котловины. По склонам оврагов тоже развиты байджарахи. На дне котловин в древних долинах встречаются булгунняхы высотой до 25-30 м, особенно много их по береговым террасам Арынской протоки — более 150, т.е. почти половина всех известных в дельте Лены булгунняхов [1].

#### *Почвы, растительность и животный мир.*

Располагаясь на стыке континентальных и морских территорий, горных областей и равнин, регион характеризуется разнообразием географо-климатических комплексов, ландшафтов и биоценозов. В 1985 г. на территории дельты был организован Усть-Ленский государственный природный заповедник. Целью создания заповедника стала охрана и изучение экосистем дельты Лены, охрана нельмы и сиговых рыб, мест массового гнездования водоплавающих перелетных птиц, самой северной в Евразии популяции черношапочного сурка, а также самых северных в Якутии массивов леса (о. Тит-Ары на Лене). Общая площадь заповедной территории составила 1 433 000 га. Заповедник расположен в устье Лены и на западном склоне северной оконечности хр. Харулах [1].

Территория дельты Лены относится к полярному (холодному) почвенно-биоклиматическому поясу, к фации очень холодных мерзлотных почв зоны тундровых глеевых и тундровых гумус-

ных почв Арктики и Субарктики. Суровые температурные условия способствуют ежегодному промерзанию почв и смыканию сезонной мерзлоты с многолетней. Промерзание почв приводит к смещению и перемешиванию почвенных горизонтов. В течение теплого периода почво-грунты успевают оттаять на глубину от 10 до 120 см, в зависимости от состава материнских пород и защищенности растительным покровом. Охлаждение профиля почвы замедляет биологический круговорот, способствует накоплению растительных остатков в виде слаборазложившегося торфа.

Благодаря хорошо выраженному микрорельефу почвенный покров весьма разнообразен. На самых молодых участках поймы выделяются мерзлотные аллювиальные примитивные почвы, фактически представляющие собой слоистую песчаную толщу со слабо развитым или отсутствующим гумусовым горизонтом. На более высоких пойменных уровнях развиты почвы мерзлотные пойменные дерново-глееватые. По краевой полосе первой надпойменной террасы сформированы мерзлотные торфяно-болотные почвы.

Центральные повышенные участки террасы заняты комплексом тундровых перегнойно-глеевых, тундровых торфяно-глеевых и торфяно-болотных почв.

В северо-западной части на пологих склонах проток, оврагов и горизонтальных поверхностях аласов под кочковатыми тундрами сформированы тундровые перегнойно-торфянисто-глеевые почвы. В избыточно увлажненных депрессиях рельефа развит комплекс полигонально-валиковых болот.

На низких участках морского края дельты, подверженных периодическому затоплению приливами, под разреженной солеустойчивой растительностью выделяется полоса мерзлотных маршевых почв.

На вершинах и покрытых осыпями склонах Хараулахских гор распространены горные примитивные (щебнистые) почвы, подбуры щебнистые, почвы пятен и трещин. На сырых пологих склонах и перевалах, а также в долинах рек развиты мелкобугристые тундры с тундровыми торфянисто-глеевыми и глееватыми гумусовыми почвами, а также почвы пятен и трещин.

Согласно флористическому районированию Арктики, дельта Лены относится к Восточно-Сибирской провинции Арктической

флористической области, Анабаро-Оленекской подпровинции, занимающей западные районы арктической Якутии и дельты рек Анабар, Оленек, Лена [1].

В составе флоры полнее других представлена группа циркумполярных видов, заметна роль сибирских и восточносибирских видов, многие из которых распространены и по Американскому Северу.

Северная и южная части дельты различаются. Они относятся, соответственно, к подзонам южных арктических и северных субарктических тундр. Растительный покров дельты Лены характеризуется большим своеобразием и включает, наряду с чисто дельтовыми растительными группировками, приморские луга, болота, тундроболота, ивняки и иные тундровые ассоциации. Разные высотные уровни дельты имеют специфические сочетания растительных сообществ. Восточная низкая часть и большая площадь юго-западной части дельты почти сплошь заняты полигонально-валиковыми тундроболотами. Центры полигонов заполнены водой, частично заняты зарослями осоки прямоостоячей и пушицы Шейхцера, иногда арктофилы рыжеватой. Повсеместно развит моховой ярус, состоящий большей частью из дрепанокладусов и каллиергонов. На валиках, достигающих высоты 10-20 см, в подзоне северных субарктических тундр развиваются фрагменты тундры ивково-травяно-зеленомошной или травяно-зеленомошной с ивой сизой. На обсыхающих валиках встречаются фрагменты кустарничково-зеленомошных тундр. На заиленных поймах довольно часто встречаются галофитные луга, сформированные бескильницей ползучей, осокой обертковидной. Растительность поймы слагают также и травяные болота с пушицей Шейхцера, заросли арктофилы рыжеватой, разреженные заросли щучки коротколистной. Более высокие уровни заняты зарослями ивы сизой и травяными болотами, где основными доминантами являются пушица многоколосковая и осока прямостоячая [1].

На о. Арга-Муора-Сисэ преобладает зональная тундровая растительность, в отличие от остальной территории дельты Лены. Растительность острова своеобразна: господствуют растения, предпочитающие песчаные почвы. Высока доля лишайников. Основной уровень острова (18-20 м) занимают травяные (с доминированием осоки прямоостоячей) лишайниково-зеленомошные тун-

дры, представленные рядом ассоциаций. Присутствует эндемичная для дельты Лены осоковая лишайниково-зеленомошная тундра. Около 30% территории острова занимают мелкобугорковые пятнистые тундры на пятнистых буграх, площадь которых достигает часто нескольких сотен квадратных метров. Пятна, обычно округлой формы, сплошь покрыты мелкими мхами. Морозные трещины между пятнами заняты узкими бордюрами из ивы монетолистной, кассиопеи четырехгранной, мхов и лишайников.

На островах-останцах Приморской равнины южной части дельты широко развиты бугристо-мочажинные тундроболотные комплексы. На юго-западной оконечности о. Харданг-Сисэ распространены пушицевые тундры, как правило, на участках, имеющих высоту около 20 м над уровнем моря [1].

В водах дельты постоянно встречаются: осетр, нельма, сибирская ряпушка, тугун, омуль, ледовитоморской сиг, муксун, налим. Старичные озера, постоянно затопляемые в половодье, заселены практически теми же видами рыб, что и протоки.

Фауна птиц включает 109 видов, в том числе около 60 гнездящихся.

Здесь обитают 27 видов наземных и 5 видов морских млекопитающих. Аборигенами тундровой зоны являются 6 видов: белый медведь, песец, северный олень, копытный и сибирский лемминги, полевка Миддендорфа [1].

Современное антропогенное воздействие на природу данного района сравнительно невелико, несмотря на использование его биологических ресурсов (оленьеводство, охотничий и рыбный промыслы). Антропогенные нарушения почвенно-растительного покрова носят почти повсеместный, но большей частью не катастрофический характер. Поверхность тундры исполосована следами вездеходов, особенно густыми в окрестностях полярных станций, постоянных рыболовецких участков и поселков. Вездеходные следы не исчезают долгое время: они порождают процессы, отличные от тех, которые протекают в окружающей тундре. Грунт под нарушенным растительным покровом, лишенный защиты, в теплое время года протаивает на значительную глубину. В водоупорных вечномерзлых породах образуются микроложбины, в которые стекает вода с прилегающих участков тундры. В результате на данном участке устанавливается особый водно-

тепловой режим. При возобновлении растительности здесь поселяются тепло- и влаголюбивые растения. Ярко-зеленые полосы такой растительности хорошо заметны на общем зеленовато-буrom фоне тундры.

## ***2.2. Дельта реки Яны.***

### *Географическое положение и климат.*

Водосборный бассейн Яны, две трети которого лежат за полярным кругом, занимает площадь 224 тыс. км<sup>2</sup> [15, С. 136]. Большая часть бассейна Яны располагается в северной части Яно-Оймяконского нагорья. Истоком считается слияние рек Дулгаллах и Сартанг в 873 км от устья. Верхний отрезок долины Яны частично расположен в Верхоянской впадине. Севернее устья Адычи река пересекает Бытантайское холмогорье, наследуя Янский глубинный разлом. Ниже устья р. Куйги Яна пересекает Куларский антиклинорий и вступает на Приморскую низменность [28, С. 74], где впадает в Янский залив моря Лаптевых. Ее низовья характеризуются контрастными условиями формирования русла, связанными с геолого-геоморфологическими особенностями территории.

Физико-географические условия формирования русла определяются резко-континентальным климатом со среднегодовой температурой минус 14 — минус 16 градусов С и годовым количеством осадков 150—200 мм. Из них доля твердых осадков составляет не более трети, поэтому расходы летних дождевых паводков на Яне часто превосходят расход половодья. Основные притоки Яны — река Адыча (дает половину стока Яны), Ольджо, Бытантай [28, С. 74].

От верховьев до устья Яна пересекает несколько ландшафтно-климатических зон: южная и средняя части бассейна находятся в зоне тайги, которая в 400 км от истока сменяется редколесьем, а затем лесотундрой, кустарничковой и мохово-лишайниковой тундрой. Весь бассейн Яны лежит в зоне распространения вечной мерзлоты.

На нижней Яне мощность многолетнемерзлых пород достигает 200—500 м, характерен процесс развития повторно-жильных льдов мощностью до 40—50 м [15, С. 135].

### *Гидрология.*

Дельта Яны по своему генетическому типу относится к дельтам выполнения устьевых лагун в фазе выдвигания устьевых баров на открытое взморье [15, С. 99].

Питание реки Яны преимущественно дождевое и снеговое. За май—август проходит до 90% годового стока. Расход воды в устье составляет 1000 м<sup>3</sup>/с. Замерзает река в конце сентября — начале октября, от верховьев к устью. У Верхоянска ежегодно река промерзает до дна на 70—110 суток; вскрывается во 2-й половине мая — 1-й половине июня [3].

До выхода на Приморскую низменность река Яна течет единым руслом. В районе с. Казачье (145 км от устья) начинается разветвление русла на рукава, имеющие самостоятельный выход в море. Наиболее многоводным из них является Самандон, место ответвления которого принято считать вершиной дельты. Самандон впадает в губу Асаабыт. Ниже по течению от основного русла Яны вправо отходит протока Кочевая. Она, в свою очередь, разветвляется на три протоки, впадающие в Чондоонскую губу. Затем, тоже вправо, отходят протоки Дурганова и Камелек, текущие на север и впадающие объединенным протоком под названием Камелек у пос. Юедей в протоку Главное Русло. В 100 км от устья располагается основной узел разветвления (урочище Развилка), где от Яны влево отходит протока Правая (Куогастаах). Длина протоки Правой от Развилки до устья — 93 км, а Главного Русла — 101 км [16, С. 124]. От развилки до устья протоки образуют несколько крутых врезанных меандр, вложенных в отложения дельтовой голоценовой равнины и в морские барьерные террасы, формируя при впадении в Янский залив устьевые бары. В приморской зоне некоторые группы рукавов объединяются и единым потоком втекают на отмёлое устьевое взморье Янского залива [16, С. 135].

### *Геологическое строение и рельеф.*

Дельта реки Яны представляет собой заболоченную приморскую равнину, понижающуюся к морю от абсолютной высоты 19 м до нулевой отметки. По морскому побережью дельта окаймляется заторфованными или песчано-илистыми островами, изобилующими мелкими солеными озерами, отмелями и мелководьями. Острова удалены от побережья на расстояние до 5 км. Эта

зона затопляется в период весеннего половодья, а также во время приливов [3].

Так же как и дельта реки Лены, дельта Яны расположена в мезозоне остаточного океанического бассейна в шовном надвиговом поясе, в Лаптевской пассивноокраинной области [33]. Дельтовая равнина Яны имеет довольно сложный, разный по возрасту и генезису рельеф. Палеогеоморфологический анализ дельтовой равнины Яны, по данным В.Н. Коротаева [15, С. 163], свидетельствует о нескольких этапах формирования дельты.

Начало формирования дельтовой равнины Яны, по-видимому, совпало со стабилизацией уровня Мирового океана. На месте дельты был морской залив, по северной периферии которого формировалась барьерная морская терраса, состоящая из примкнувших друг к другу морских баров. Река строила дельту заполнения — устье ее располагалось в районе современной вершины дельты [16, С. 153]. Формирование древней (высокой) дельтовой поймы и смыкание дельты с барьерной морской террасой завершилось порядка 4 тыс. лет назад (в начале суббореального периода голоцена), когда уровень моря Лаптевых стал близок к современному.

Последующее развитие дельты и ее гидрографической сети определялось характером блуждания дельтовых рукавов в пределах наклонной поверхности дельтовой равнины, прорывом многоводными рукавами блокирующей барьерной террасы и выдвиганием устьевых баров на отмёлое взморье. В начале этапа выдвигания дельты Яны основной сток воды концентрировался на западе дельты, в ныне загложших протоках. Накопление отложенной высокой поймы в ее надводной части мощностью от 2 до 4 происходило в суббореальный период голоцена. Около 1 000 лет назад, в конце этого периода, в связи с выходом высокой поймы из-под уровня ежегодного затопления, вертикальный рост ее замедлился [15, С. 163].

В конце суббореального периода интенсивное устьевое удлинение древних западных проток вызвало перераспределение стока воды в дельте. Дальнейшее развитие гидрографической сети в субатлантическое время (1 000—600 лет назад) определялось заложением новых дельтовых рукавов в восточной части дельты и коренной перестройкой вершинной части дельты, где начали функционировать протоки Камелек и Дурганова.

Современная эпоха, начавшаяся около 600 лет назад, характеризуется уменьшением речного стока в вершину дельты и продолжающейся тенденцией к переброске большей части стока в главное русло. В настоящее время главное русло является наиболее многоводным и развивающимся дельтовым рукавом, забирающим в межень 50-60% стока воды и наносов. Современные процессы дельтообразования — барообразование и устьевое удлинение — сосредоточены главным образом на борových участках магистральных рукавов [15, С. 164].

В.Н. Коротаев выделил следующие геоморфологические районы дельты Яны [15, С. 158]:

- 1) приморская озерно-аллювиальная равнина (едома);
- 2) каргинская морская терраса;
- 3) сартанская аллювиальная терраса;
- 4) голоценовая прибрежно-морская равнина (прибрежно-морские барьерные террасы);
- 5) голоценовая аллювиально-дельтовая равнина.

Все правые дельтовые рукава формируют свои русла вне пределов голоценовой дельтовой равнины. Они врезаются в отложения либо морской каргинской террасы, либо в поверхность первой надпойменной сартанско-голоценовой террасы. Правые рукава расположены в долинах, образованных цепочками сомкнувшихся котловин (реликты термокарстовых озер). В процессе деградации криогенного рельефа на поверхности террас происходило расширение и объединение термокарстовых котловин, в которые затем в половодье стали поступать воды Яны. В результате на голоценовом этапе от реки отделились новые рукава [15, С. 158].

Участок Приморской низменности, к которому примыкает дельта Яны, представляет собой едому — плоскую поверхность древней аккумуляции, характерную для Яно-Индибирской низменности. Около 30% всей площади ее занято останцами-едомами, которые выделились в результате расчленения первичной поверхности. Останцы-едомы Яно-Индибирской низменности линейно вытянуты в плане и располагаются параллельными рядами субширотной ориентировки.

Предположение об образовании такого останцово-грядового рельефа выдвинул В.С. Ломаченков [25]. Согласно его исследованиям, первоначально Яно-Индибирская низменность представ-

ляла собой плоскую равнину, сложенную прибрежно-морскими и озерно-болотными отложениями. Прибрежно-морские отложения, слагающие нижний горизонт разреза, состояли преимущественно из тонких песчаных супесей, иногда песков. Залегающие выше озерно-болотные осадки сложены из глинистых супесей и суглинков. Они образовались в результате размыва возвышенных частей подстилающей прибрежно-морской толщи и заполняли понижения ее кровли. Оба горизонта содержали включения мощных клиновидных повторно-жильных льдов. Наличие льдов обусловило развитие термокарстовых процессов и образование многочисленных котловин на поверхности равнины. Котловины заполнялись водой, и тепловое воздействие озерных и речных вод на мерзлые породы берегов котловин, в сочетании с абразией и эрозией, способствовало их быстрому разрушению. Котловины расширялись и соединялись между собой, к настоящему времени они превратились в обширные плоские заболоченные равнины — аласы.

В результате оказались разрушенными те участки поверхности приморской равнины, которые были сложены более глинистыми отложениями, содержащими наибольшую массу клиновидных повторно-жильных льдов. Такими участками явились площади развития озерно-болотных отложений, на месте которых сформировались аласы. На участках, сложенных песчаными прибрежно-морскими осадками с меньшим количеством клиновидных льдов, термокарстовые процессы почти не проявлялись, и эти участки сохранились в виде едом [25].

Приморская полоса дельтовой равнины Яны представляет собой морскую террасу, образованную примкнувшими друг к другу береговыми барами и лагунами. На ее поверхности выделяют два поколения древних морских баров и полосу современных береговых баров, окаймляющую внешний периметр дельтового конуса [15, С. 162].

Собственно голоценовая дельта Яны представлена ограниченной территорией площадью 3,5 тыс. км<sup>2</sup>, заключенной между первой надпойменной сартанской аллювиальной террасой на западе и востоке и морской барьерной террасой на севере. В ее пределах выделяют три уровня дельтовой поймы: древнюю (нерасчлененная суббореальная пойма), зрелую (высокая субатлан-

тическая пойма отмерших протоков на западе и севере) и молодую (низкая современная пойма) [15, С. 159].

Древняя пойма наиболее высокая (до 6 м в вершине, до 3 м в приморском крае), занимает большую часть дельтовой равнины, представляет собой типичную полигональную тундру. Ее слагают сизовато-серые мелкозернистые алевриты с прослоями торфа и линзами льда. Первичный русловой рельеф практически не прослеживается.

Зрелая пойма выделяется среди древней поверхности в виде широких поясов меандрирования с ложбинно-гривистым рельефом высоты до 3 м в вершине, до 2 м в приморском крае низменности, которая сложена толщей переслаивающихся темно-серых тонкозернистых песков и алевритов с прослоями органических остатков.

Молодая пойма встречается вдоль русла основных дельтовых рукавов и крупных протоков в виде небольших островов и сегментной поймы с абсолютными высотами от 2 до 0,5 м. Сложена она алевритом с торфяными прослоями.

Характерными для русел большинства протоков являются высокие пески: осередки, побочни перекатов, прибрежные отмели, сформированные за последние 100 лет [15, С. 162].

В современных речных дельтах, прошедших длительный эволюционный путь развития в несколько стадий выполнения заливов и выдвигения на открытое взморье, процессы первичного дельтообразования с формированием устьевых баров локализованы в приморской части дельт и на устьевом взморье. На остальной части дельтовой равнины преобладают процессы реформирования древних участков дельтовой поймы современными русловыми процессами [15, С. 82].

#### *Растительность, почвы и животный мир*

Дельта Яны находится в подзоне субарктических тундр. Почвы тундровые, местами лугово-подзолистые, мощностью 20-40 см. В полосе 1-3 км от моря и на приморских островах преобладает галофитная растительность. На надпойменных террасах господствуют полигонально-валиковые тундроболота. По берегам протоков местами произрастают ивы и ольховник.

Основными доминантами растительных группировок являются пушицы и осоки (пушица многоколосковая, осока прямостоя-

шая). Из редких видов сосудистых растений, занесенных в Красную книгу Якутии, встречается дендрантема Хультена.

Дельта р. Яны является крупным местом концентрации водноболотных птиц. Здесь гнездятся около 200 тысяч водоплавающих птиц, в том числе гуси, лебеди, гаги и гагары. В Яне водится 28 представителей ихтиофауны. Основной промысловый объект — ряпушка; значительны запасы пеляди и чира, ограничены запасы нельмы, муксуна [3].

## ЧАСТЬ III. ДИСТАНЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

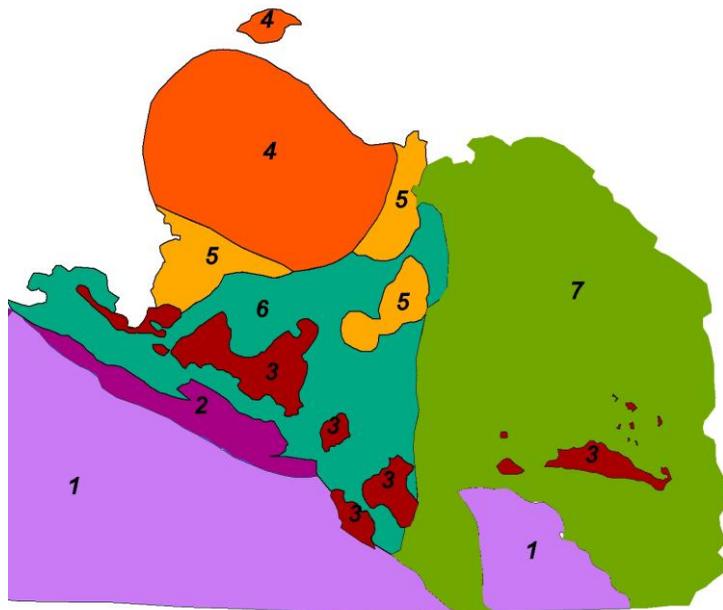
### Глава 3. Выбор наиболее оптимального метода геоморфологического дешифрирования на примере дельты реки Лены

#### 3.1. Визуальное аналоговое дешифрирование.

Для чистоты эксперимента визуальное дешифрирование дельты Лены было проведено на первом этапе работы. Для этого использовались разновременные снимки, сделанные в ближней инфракрасной зоне съемочной системой Landsat ETM+ в летнее время, в пик вегетации растительного покрова, в период с 1999 по 2001 гг. Ближняя инфракрасная зона была выбрана, поскольку водные поверхности обладают свойством поглощать излучение этой части спектра, вследствие чего они изображаются на снимке наиболее темными. Растительность и горные породы поднятых и, следственно, более сухих участков изображаются на снимке более светлыми, чем тяжелые влажные грунты пониженных территорий. Это облегчает процесс дешифрирования, так как исчезает излишняя пестрота ландшафта. Изображение получается наиболее контрастным, и появляется возможность судить о сравнительном гипсометрическом положении различных участков поверхности.

В первую очередь была выполнена оцифровка экранного изображения при помощи инструментов ArcGIS 9.3, в процессе которой нужные границы визуально выделяемых геоморфологических районов обводятся курсором и фиксируются в векторной форме. Границы выделялись на основе структурных признаков (текстуры, структуры, рисунка) изображения. Возможность использования структурных признаков является одним из преимуществ визуального дешифрирования, поскольку рисунок изображения считается надежным признаком (прямой ландшафтный признак). Разные рисунки соответствуют разным природно-территориальным комплексам, границы которых определяются рельефом. Для сравнения, при автоматизированном дешифрировании, как было сказано в главе 1, возможно лишь использование менее надежного признака — спектрального образа.

В результате оцифровки было выделено семь районов (рис. 2), дальнейшая геоморфологическая интерпретация которых осуществлялась с помощью литературных источников и тематических карт.



**Рис. 2. Схема геоморфологического районирования дельты реки Лены по результатам визуального геоморфологического дешифрирования данных многозональной съемки**

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

2. Строго ориентированный структурный рельеф на складчатом основании, отличающийся по своей морфологии от первого участка.

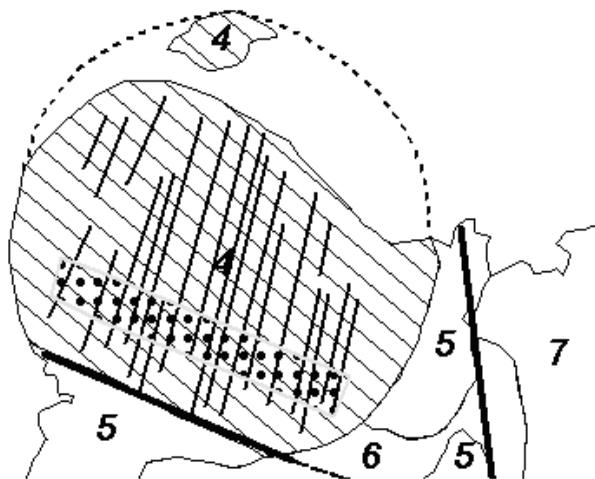
На геоморфологической карте, приведенной в работе Д.Ю. Большаянова и др. [4], районы 1 и 2 объединены, однако в инфракрасной зоне съемки видно, что район 2 отличается четкой ориентировкой грядового рельефа в северо-западном направлении

и отражает структуру геологического субстрата. Можно предположить, что комплекс 2 надвинут на комплекс 1 (пологая дуга).

3. Останцы поверхности, сложенной породами ледового комплекса. На снимке четко прослеживается, что поверхность останцов осложнена термокарстовыми формами, такими как озерные котловины и аласы.

Отдельно стоит обратить внимание на остров Сардах, который, если ориентироваться по тону и структуре изображения, также может быть отнесен к группе пород ледового комплекса. Однако, как следует из карт и литературных источников [4], этот остров представляет собой брахиформное купольное поднятие, о чем косвенно говорит его строго округлая форма в плане. По данным ВСЕГЕИ [33], в районе острова залегает фундамент архейского возраста, а на некоторых участках острова он выходит на поверхность.

4. Аллювиально-морская терраса острова Арга-Муора-Сисе, сложенная более древними, чем дельта, осадками. Если судить по рисунку изображения, можно предположить, что данный участок представляет собой пологую платформенную складку, имеющую брахиформную структуру. Если визуальнo продолжить геометрический контур выделенного района, захватывая территорию, уже переработанную термоабразионной деятельностью моря, то объект приобретает очертания круга (рис. 3) [12].



Легенда

— Линии ориентировки термокарстовых озер

••••• Зона наибольшей концентрации озер

— Разломы

**Рис. 3. Ориентировка термокарстовых озер группы Арга-Муора-Сисе (брахиформная структура)**

Поверхность этого участка сильно «изъедена» термокарстовыми озерами и аласами, что дает нерегулярную крупно- и мелкопятнистую структуру изображения. Интересна ориентировка озер с севера — северо-востока на юг — юго-запад, так что при большей генерализации структура изображения становится полосчатой. Благодаря таким геоморфологическим индикаторам, проявляющимся на космических снимках, возможно выявление криптоморфных (скрытых) разломов ориентированной линейной геометрии, связанных с проявлением разрывных нарушений земной коры [26]. 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.

Кроме того на снимке в пределах этого участка четко прослеживается зона наибольшей концентрации термокарстовых озер, протянувшаяся с северо-запада на юго-восток острова. Эта зона концентрации обладает более темным фототонем изображений. Можно предположить наличие в этом месте локального линейного прогиба в земной коре.

5. Поверхности того же происхождения, что в районе под номером 4, но, судя по фототону изображения, обладающие более низким гипсометрическим положением; в литературных источниках [4] объединены едиными границами. Однако в нашем случае поверхности 5 выделены отдельно, поскольку при дешифрировании космоснимков наблюдается низкочастотный уровень яркости изображения этих участков. Это свидетельствует о том, что они более обводненные, значит, расположены ниже поверхности под номером 4. Кроме того, в отдельных случаях на этих поверхностях наблюдаются русловые формы рельефа, связанные с развитием дельты.

6, 7. Наиболее молодая часть дельты — голоценовая аллювиально-морская терраса. Обладает типичным рисунком поверхности речных террас с ориентированными в разных направлениях полукружьями стариц, заполненных водой или пересохших. Такой рисунок обусловлен различиями в микрорельефе и растительных сообществах, размещенных на нем.

За время экспедиций последних лет были выделены единые по своим свойствам и возрасту конусы выноса отдельных проток, описание которых представлено в разделе 2.1. Однако, поскольку датирование дистанционными методами невозможно, мы смогли выделить лишь два участка, наиболее явно различающиеся на снимке: 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. И тот и другой участки осложнены термокарстовыми формами, однако на участке 6 частота расположения термокарстовых озер намного выше. Эти факты можно считать косвенными свидетельствами более древнего возраста западной части голоценовой дельты.

В целом полученная схема районов достаточно близко соответствует геоморфологической схеме, составленной по материалам полевых исследований (Приложение 1). Недостаток визуального дешифрирования проявился в невозможности точного выделения разновозрастных частей голоценовой аллювиально-морской террасы, а также в том, что конечным результатом такого дешифрирования является достаточно обобщенная схема. При необходимости получения средне- или крупномасштабной карты для такой обширной территории применение метода визуального дешифрирования стало бы нерациональным, поскольку вручную невозможно подробно выделить все формы рельефа, в особенности огромное количество поверхностных водных объектов. Процесс детальной ручной оцифровки занял бы много времени. Эти недочеты могут быть учтены и исправлены с помощью цифровых методов дешифрирования.

### ***3.2. Неконтролируемая классификация.***

Для выполнения автоматизированного дешифрирования было использовано 5 перекрывающихся снимков дельты Лены, обеспечивающих полное покрытие исследуемой территории. Снимки были сделаны в июле-сентябре 2001 г. спутником Landsat 7, сенсор ЕТМ+. Данный период был выбран, поскольку с учетом орOGRAPHии, фенофаз растительного покрова, определенных климатических особенностей он является оптимальным для получения космической информации в ландшафтных зонах европейских и азиатских тундр [29, С. 42].

Неконтролируемая классификация, как правило, используется, если спектральные характеристики и количество классов заранее неизвестно. В нашем случае мы провели неконтролируемую классификацию территории дельты Лены, чтобы оценить эффективность этого метода для малоизученной территории. Поэтому, с целью сопоставимости и сравнения результатов, было задано количество классов, соответствующее количеству реально выделяемых районов. Были проведены две попытки дешифрирования одного снимка с использованием итерационного алгоритма последовательной классификации.

В первом случае было задано 7 классов, 5 итераций, порог совмещения 0,95. Количество классов было определено с учетом

пяти классов, выделенных при визуальном дешифрировании для данного снимка (за исключением структурного рельефа Верхоянской складчатой зоны, который отсутствует на взятом снимке), и двух добавочных классов для водной поверхности и молодой дельтовой поймы. Однако не все предполагаемые классы удалось получить. Так, для водной поверхности было получено три класса, а морская терраса острова Арга, молодая дельтовая пойма и останцы пород едомы были объединены программой в один класс. Достаточно строго удалось выделить лишь восточную часть голоценовой аллювиально-морской террасы (Приложение 3).

В другом случае количество классов было увеличено до 9, с целью разделить объединенные при первой попытке классы. В результате количество классов, выделяемых программой для водной поверхности, увеличилось до 4. Более четко удалось выделить останцы пород едомы, но молодая дельтовая пойма по-прежнему включалась в этот же класс (Приложение 4).

В целом основная проблема проявилась в схожести спектральных характеристик объектов в западной части дельты, в связи с чем при неконтролируемой классификации не происходит выделения отдельных объектов, а проявляется крапчатость результирующего изображения за счет погрешностей классификации. Такой результат не позволяет сделать обоснованных выводов относительно наличия или отсутствия определенных геоморфологических объектов. Избежать подобных неточностей можно, используя классификацию с обучением. Неконтролируемую классификацию при этом лучше использовать в качестве вспомогательного инструмента при работе с неизвестными дешифровщику территориями, для предварительной оценки классов.

### ***3.3. Контролируемая классификация.***

При выполнении контролируемой классификации работа со снимками включала несколько последовательных этапов:

1. Создание выборки;
2. Классификация изображения;
3. Создание мозаики;
4. Постклассификационная обработка;
5. Векторизация.

Первоначально планировалась иная последовательность: создание мозаики снимков, их цветовая коррекция, выравнивание и затем дешифрирование (классификация). Но за счет даже небольшой разницы во времени съемки (например, в начале июля и в конце июля), различной освещенности, атмосферных факторов — одни и те же геоморфологические объекты на разных снимках обладают различной спектральной яркостью. Поэтому изображение на откорректированной мозаике снимков в некоторой степени искажает реальную спектральную характеристику точек земной поверхности. За счет этого эффекта применение классификации к мозаике дает не совсем достоверный результат. Поэтому целесообразнее проводить дешифрирование по каждому снимку отдельно и только после этого собирать результаты с помощью мозаики в единое изображение. По этой причине кондиционные полистные дистанционные основы не всегда адекватны правильно выбранным отдельным сериям многозональных снимков.

Для выполнения работы использовалась комбинация 4-го, 3-го и 1-го каналов. Сшивка каналов осуществлялась в программе Erdas Imagine 2013. В этой комбинации, за счет использования 4-го (инфракрасного) канала, четвертичные отложения дельты изображаются в оттенках красного цвета. Участки с высоким гипсометрическим положением отображаются в гамме светлых тонов, а более низкие территории с обводненным грунтом — в гамме темных тонов. Наиболее молодые отложения — высокие пески отчетливо выделяются в руслах проток.

На основе использования геоморфологической карты и карты четвертичных отложений масштаба 1: 2 500 000 [13], а также по результатам визуального дешифрирования было выбрано несколько репрезентативных участков для каждого класса (инструмент Signature editor). Затем с помощью функции Merge спектральные значения, характеризующие определенный класс, объединялись в одно. Использование нескольких репрезентативных участков помогло получить усредненную спектральную характеристику для каждого класса.

Для того чтобы определить оптимальную степень точности отнесения пиксела к тому или иному классу, для каждого класса создавалась маска классификации и экспериментально подбирались стандартное отклонение (Standart deviation).

Первоначально предпринималась попытка выделить уникальную спектральную характеристику для каждого из конусов выноса дельты, обозначенных на существующей геоморфологической схеме (Приложение 1). Однако предварительный просмотр масок классификации для сигнатуры каждого из конусов выноса показал значительное пересечение их спектральных характеристик, что означает невозможность их четкого выделения на основе спектральных признаков. В результате была создана обучающая выборка, включающая 5 классов:

- Водная поверхность;
- Аллювиальная дельтовая равнина;
- Останцы пород ледового комплекса;
- Надводные пески (современная пойма);
- Аллювиально-морская терраса (острова Арга).

Далее, в целях достижения большей контрастности и сопоставимости классов разных снимков, естественный спектральный образ заменялся на новый.

Готовый файл сигнатур применялся для проведения *контролируемой классификации по методу максимального правдоподобия*. Выбор именно этого метода обусловлен характерным для природных объектов сходством спектральных характеристик некоторых классов. Основанный на статистическом подходе метод максимального правдоподобия позволяет учитывать вариации признаков и допускать отнесение пикселей к другим классам, если частота их появления относительно мала, что позволяет избежать лишнего спектрального «шума» на результирующем изображении.

Поскольку по каждому снимку классификация выполнялась отдельно, значения спектральных характеристик одних и тех же классов на снимках различны. Поэтому для того, чтобы иметь возможность корректным образом собрать в мозаику все снимки, покрывающие дельту Лены, необходимо было провести *переклассификацию*. Значения классов на одном из снимков были выбраны в качестве ориентира, к которому приводились значения соответствующих классов по другим снимкам. Для этих целей использовался инструмент Переклассификация (Spatial Analyst) в ArcGIS 9.3. Далее из полученных изображений в Erdas Imagine была собрана *мозаика*, представляющая собой карту классификации.

Следующим этапом стала постклассификационная обработка мозаики, необходимая для подготовки тематического растрового изображения к векторизации. В классифицированных выходных данных могут присутствовать неправильно классифицированные отдельные пиксели или небольшие регионы, что придает выходным данным крапчатый или рябой вид. Постклассификационная обработка представляет собой процесс удаления шума и улучшения качества классифицированных выходных данных и состоит из нескольких последовательных шагов.

В первую очередь была проведена *фильтрация* при помощи инструмента Majority Filter, который заменяет значения ячеек растра другими значениями, основанными на соседних ячейках, составляющих большинство.

Далее было выполнено *сглаживание полученных границ* классов и объединение классифицированных выходных данных при помощи инструмента Boundary Clean по методу сортировки Ascend, когда меньшие по площади зоны пикселей имеют более высокий приоритет на расширение в зоны с большей общей площадью. Этот инструмент сглаживает шероховатости границ классов и собирает их в одно целое, позволяя повысить пространственную целостность классифицированного изображения. Регионы, граничащие друг с другом и относящиеся к одному классу, объединяются.

Последним этапом постклассификационной обработки стала *генерализация* классифицированных выходных данных путем удаления небольших изолированных регионов. Для выполнения этой задачи использовались инструменты Группировка (Region Group), Установить ноль и Отсечение (Nibble). Инструмент группировка приписывает каждой ячейке выходного растра принадлежность соответствующему региону связанных ячеек, которому присваивается уникальный номер. Далее, после группировки, на полученный растр был применен инструмент Set Null, который установил значение NoData для определенных ячеек на основании заданного критерия. В нашем случае был применен критерий  $\text{Count} < 200$ , что позволило создать растр-маску, где значения NoData были установлены для всех групп ячеек размером менее 200 пикселей. В заключение был использован инструмент Nibble, с помощью которого происходит замена значений ячеек входного

растра, которые соответствуют значениям ячеек NoData растровой маски, новыми значениями, определяемыми по методу ближайшего соседства. В результате было получено значительно более обобщенное изображение со сравнительно крупными выделенными регионами, соответствующими определенному рельефу.

Заключительным шагом стала автоматизированная векторизация тематического растра при помощи инструмента Raster to polygon, когда было выполнено оконтуривание всех групп ячеек с одинаковыми значениями.

Полученная карта классификации представлена в Приложении 5.

### ***3.4. Оценка достоверности результатов дешифрирования.***

Следующей задачей стало определение достоверности автоматизированного дешифрирования путем сопоставления его результатов с эталонными данными, полученными из полевых исследований.

Как было уже упомянуто в Главе 1, при дешифрировании оценивается не число объектов, а их площадь, т.е. доля правильно классифицированных пикселей. Поскольку эталонные данные (геоморфологическая схема по результатам полевых исследований) были представлены лишь в формате jpg, потребовались некоторые дополнительные действия, чтобы определить значения площадей районов. Кроме того, поскольку существующая схема не имеет пространственной привязки, то значение площадей может быть получено только в количестве пикселей, приходящихся на тот или иной район. Таким образом, сравнение в абсолютных единицах измерения не имеет смысла и может быть осуществлено только в долях процента того или иного района в структуре дельты.

В первую очередь к эталонной схеме была применена неконтролируемая классификация с выделением 19 классов — для каждого цветового значения на схеме. Затем в ArcGIS 9.3 была проведена автоматизированная векторизация, в результате которой было получено более 500 различных полигонов, соответствующих данным 19 классам. Для упрощения подсчета площадей полигонов следующим шагом была выполнена операция Dissolve (слияние), с помощью которой были объединены полигоны, принадлежащие к одному классу. Инструмент Spatial statistics (пространственная статистика) позволил получить значения площади,

приходящейся на каждый класс. Сумма площадей классов, отражающих строение дельты, была принята за 100%. Из подсчета были исключены посторонние классы, такие как водная поверхность, структурно-денудационный рельеф пород дочетвертичного возраста и др., не входящие в состав дельты. Процент площади, занимаемой каждым районом в структуре дельты, был занесен в таблицу 1.

На эталонной схеме выделены различные конусы выноса отдельных проток. Однако, поскольку по результатам дешифрирования в рамках данной работы выделить их не удалось, то в таблице представлена сумма площадей конусов выноса, соответствующая аллювиально-морской террасе.

Аналогичным образом были подсчитаны площади районов для карты, созданной по методу классификации с обучением. Единственным отличием стало то, что, поскольку при создании файла сигнатур нас не интересовали спектральные значения объектов, находящихся за пределами дельты, то, соответственно, для этих объектов не были созданы уникальные спектральные характеристики, и на снимке они классифицировались как хаотично-крапчатые участки, состоящие из отдельных пикселей, характерных для классов дельты. Поэтому для корректного подсчета площадей была выполнена обрезка изображения по краю дельты с помощью инструмента Clip (вырезание). Полученные значения занесены в таблицу 1.

Таблица 1

## Структура рельефа дельты Лены

Рельеф	Площадь, занимаемая районом (%)	
	Карта по материалам полевых исследований	Карта по результатам классификации с обучением
Останец аллювиально-морской террасы острова Арга	28,0	16,2
Останец аллювиально-морской террасы (с более низким гипсометрическим положением)	не выделяется	7,5
Останцовая поверхность пород ледового комплекса	8,0	9,0
Современная низкая пойменная терраса, сложенная песками	4,5	11,7
Аллювиально-морская терраса возрастом до 8 тыс. лет	59,5	55,6
Площадь дельты, %	100	100

Полученные районы в целом соответствуют представленным на эталонной схеме. Существуют некоторые неточности в доле занимаемой площади, которые можно объяснить тем, что автоматизированная классификация позволяет выделять сравнительно небольшие объекты, не учтенные при составлении полевой схемы, которые в своей совокупности влияют на долю занимаемой площади.

Так, современная низкая пойменная терраса, сложенная песками, занимает на эталонной схеме 4,5% дельтовой территории, при этом она выделяется только в юго-западной, юго-восточной частях, а также в вершине дельты. При автоматизированном дешифрировании по центральным протокам дельты обнаруживаются современные песчаные отложения и, кроме того, — отдельные островные образования в руслах по всей дельте. Также следует учитывать некоторую погрешность классификации вследствие схожести спектральных признаков объектов. В данном случае теми же спектральными признаками, что и современная пойменная терраса, обладают песчаные отложения береговых баров. За счет этих факторов площадь песчаных отложений возрастает до

11,7%. Различный генезис этих типов отложений очевиден, поэтому схожесть спектральных характеристик не может ввести дешифровщика в заблуждение.

Таким образом, с одной стороны, автоматизированная классификация дает возможность более детального выделения объектов, с другой стороны — существует вероятность объединения в один класс объектов с разным генезисом. Это делает необходимым проведение постклассификационного анализа и контроля.

Еще одним отличительным моментом по результатам классификации стало выделение дополнительного класса, соответствующего останцу аллювиально-морской террасы, но отличающегося по спектральным характеристикам от острова Арга. Эта часть террасы, примыкающая к дельте, более низкая по гипсометрическому положению (обладает меньшей яркостью изображения), с развитыми русловыми формами. Эта часть останца как бы встроена в тело конуса выноса дельты. Выделение данного класса автоматизированным способом (даже с учетом того, что изначально в выборку он не закладывался) подтвердило результат визуального дешифрирования.

К недостаткам метода можно отнести уже упомянутую выше невозможность выделения разновозрастных конусов выноса, а также останца острова Сардах, сложенного более древними породами.

В целом среди камеральных методов дешифрирования наиболее оптимальным представляется использование именно метода классификации с обучением, как наиболее детального. При этом его необходимо дополнять визуальным дешифрированием. Чтобы избежать неверного отнесения объектов к тому или иному классу, необходимо сопоставлять не только спектральные характеристики объектов, но также текстурные и структурные особенности их изображения. Это позволит повысить надежность и качество результирующей карты.

## Глава 4. Дешифрирование дистанционных основ для территории дельты реки Яны

### 4.1. Геолого-геоморфологическое дешифрирование.

Дешифрирование снимков для территории дельты реки Яны выполнялось по методу контролируемой классификации, с последующей докорректировкой полученной карты классификации и осуществлением визуального контроля. Было использовано 4 перекрывающихся снимка, сделанных в июле-августе 2001 г. спутником Landsat 7, сенсор ЕТМ+. Для дешифрирования применялась методика, описанная в п. 3.3 данного пособия. В результате на снимке было выделено 7 классов. Используя геоморфологическое описание дельты реки Яны, предложенное В.Н. Коротаевым [16], а также существующую карту четвертичных отложений масштаба 1: 2 500 000 [13], удалось интерпретировать выделенные классы следующим образом:

1. морская терраса каргинского времени;
2. голоценовая прибрежно-морская терраса суббореального-субатлантического времени;
3. современная формирующаяся морская терраса;
4. аллювиальная терраса сартанского времени;
5. высокая голоценовая (суббореальная) дельтовая пойма;
6. низкая современная пойма;
7. озерно-аллювиальная равнина (едома).

1. Поверхность, выделяемая В.Н. Коротаевым как каргинская морская песчаная терраса (50-24 тыс. лет назад), на снимке представляет собой субпараллельные ряды останцов, линейно ориентированных с юго-запада на северо-восток. Изображение этих останцов обладает наибольшей спектральной яркостью на всей территории дельты, следовательно, это участки с наиболее высоким гипсометрическим положением. Между останцами проложены многочисленные русла правых протоков дельты. Очевидно, что ранее единая поверхность морской террасы была разрушена термокарстовыми процессами, а также подверглась эрозионному расчленению.

2. Голоценовая морская терраса, в наиболее древней своей части примыкающая к аллювиально-дельтовым отложениям. По

данным В.Н. Коротаева [15, С. 162] имеет возраст около 4 тысяч лет и представлена мелкозернистыми песками с характерной волнистой текстурой с микролинзами торфа.

Более молодую генерацию морских баров не удалось выделить автоматизировано, поскольку не наблюдается разницы в спектральных характеристиках террас одного генезиса. Однако при визуальной интерпретации снимка четко заметна структурная граница между двумя генерациями морских террас. Более молодая терраса расположена ниже и существенно более обводнена, ее ширина увеличивается в западном направлении. Возраст этой террасы колеблется от 1 000 до 500 лет [15, С. 162].

3. Полоса современных береговых баров, окаймляющая внешний периметр дельты. Это самая низкая ступень морской террасы, сформированная при современном положении уровня моря; представлена серией береговых валов и цепью лагун, полосой надводных островов, вытянутых вдоль дельтового конуса.

Современные береговые образования, длительное время находящиеся в волноприбойной зоне, не имеют никаких проявлений мерзлотных процессов, хотя именно они наиболее сильно промерзают в зимнее время, когда лед на отмелях ложится на дно. Эти аккумулятивные образования хорошо дешифрируются по ровному тону изображения, кроме того, эти поверхности наиболее обводнены.

4. Первая надпойменная терраса сартанского времени (23-10,7 тыс. лет назад) имеет сравнительно однородное, коричнево-серое изображение. Этой террасе свойственна конечная стадия деградации полигонального рельефа, когда происходит окончательное разрушение валиков и почти полная нивелировка поверхности и ее заболачивание.

5. Высокая дельтовая пойма занимает большую часть голоценовой дельтовой равнины. Поверхность ее представляет собой полигональную тундру. Наиболее высокое положение (до 5-6 м) она занимает в вершинной части дельты и до 1,5-2м — в приморской. По данным определения абсолютного возраста по С 14 образование поймы происходило в интервале от 4 до 2 тыс. лет назад. Сложена она темно-серыми тонкими песками, алевролитами с прослоями органики и льда.

6. Низкая молодая дельтовая пойма визуально прослеживается узкими сегментами вдоль русел большинства протоков. Однако при автоматизированном дешифрировании и последующей обработке выделились лишь наиболее значительные участки молодой поймы в центральной части дельты. Отчетливо она выделяется за счет отсутствия на поверхности мерзлотных процессов и яркости изображения в инфракрасной части спектра.

7. Озерно-аллювиальная равнина (едома) обладает похожим развитием криогенных форм рельефа с морской террасой каргинского времени. Для этих территорий характерны термокарстовые ландшафты: округлые озера, участки понижений (аласов), байджерахи. Однако озерно-аллювиальная равнина отличается от морской террасы по спектральным характеристикам, что позволяет разделять эти два класса при автоматизированном дешифрировании. Равнина представляет собой участок Приморской низменности, к которому прислонена дельта Яны, и не входит в состав дельтовых территорий.

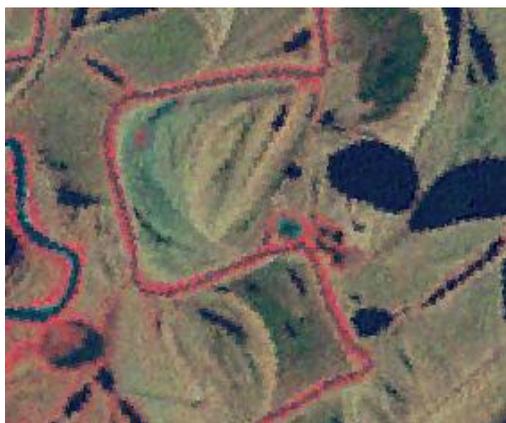
#### ***4.2. Линеаментное дешифрирование.***

При работе с космическими снимками в дополнение к геолого-геоморфологическому дешифрированию целесообразно провести также линеаментное дешифрирование. Поскольку подготовительный этап линеаментного анализа, заключающийся в подборе снимков нужного разрешения и оптимального режима съемки и оконтуривании различных геолого-геоморфологических участков, уже пройден, то есть возможность сразу приступить к картографическому этапу.

В нашем случае на снимке дельты реки Яны разломы (диаклазы) отчетливо выделяются через спрямленные участки русел протоков (рис. 4), а также через резкие, коленообразные изгибы русел, часто под углом  $90^\circ$  (рис. 5).



**Рис. 4. Спряmlенные участки реки, индицирующие трещиноватость субстрата или разлом**



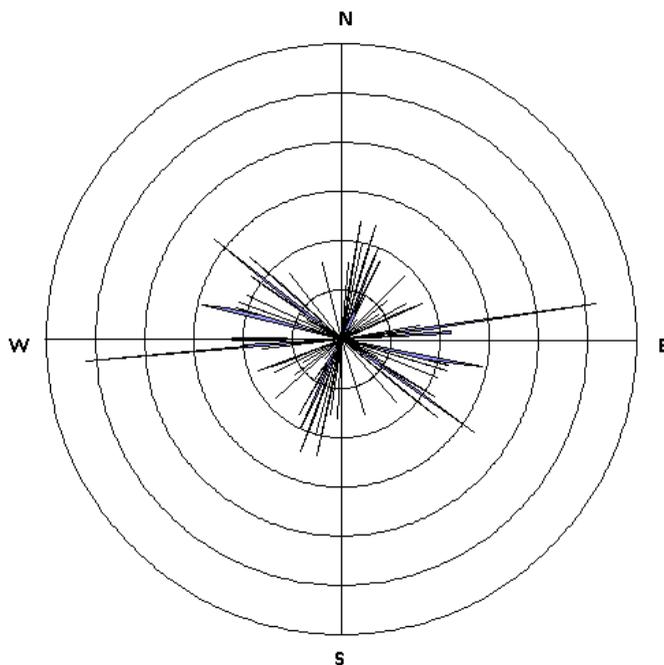
**Рис. 5. Коленообразные изгибы русла**

На снимке прослеживается множество разломов сравнительно небольшой протяженности, особенно в юго-восточной части дельты.

Все выделенные линеаменты можно сгруппировать в три довольно четкие системы: север-северо-восточного направления (азимут от  $7^\circ$  до  $56^\circ$ ), субширотные (от  $62^\circ$  до  $93^\circ$ ) и юго-восточного направления (от  $106^\circ$  до  $167^\circ$ ).

Для статистической обработки азимуты ориентировок, а также протяженности линеаментов были сгруппированы в таблицу (Приложение 6), по данным которой были построены розы-диаграммы.

На рисунке 6 представлена диаграмма ориентировки выделенных линеаментов, отражающая также и среднюю протяженность линеаментов каждого направления.

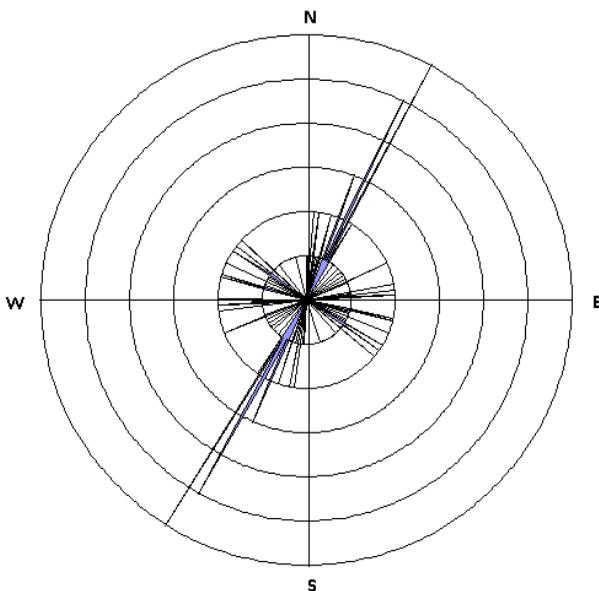


**Рис. 6. Роза-диаграмма ориентировки линеаментов дельты реки Яны (длина лучей соответствует средней длине линеаментов данной ориентировки)**

Наибольшей протяженностью обладает один из разломов субширотного направления (азимут  $88^\circ$ ) (Приложение 6). Это самый южный из выделенных по снимку разломов, фактически находящийся за пределами дельты Яны, у ее вершины.

Если рассматривать исключительно линеаменты дельты, то наибольшей протяженностью обладают разломы юго-восточного направления.

Линеаменты северо-восточной ориентировки по протяженности сравнительно невелики, однако часто выделяемы. Как видно из диаграммы на рисунке 7, наибольшее число разломов приходится именно на это направление (азимут 33-35°) (Приложение 6).



**Рис. 7. Роза-диаграмма ориентировки линеаментов дельты реки Яны (длина лучей соответствует количеству выделенных линеаментов данной ориентировки)**

Изучение тектонических движений на территории дельты не входит в рамки данной работы, поскольку потребовало бы организации отдельного исследования. Однако стоит упомянуть лишь о том, что более глубокое изучение распределения линеаментов позволило бы сделать выводы о направленности тектонических движений, так как дельты и их реки, как правило, отражают направление основных структурных линий: глубинных разломов, тектонически ослабленных обширных зон в пределах более устойчивых во времени геологических структур. Согласно В.Н. Коротаеву [15, С. 69], в целом для дельты Яны характерны дифференцированные неотектонические деформации — унаследованное поднятие или опускание отдельных участков дельты, приведшее к врезанию рукавов в морские отложения и к общему перераспределению стока в центральную часть дельты (Приложение 7).

## Глава 5. Дешифрирование русловых деформаций на примере широтного отрезка реки Оби

Река Обь в среднем ее течении представлена аллювиальными, позднеголоценовыми отложениями низкой и высокой поймы мощностью 5-30 м, сложенными мелкими и пылеватыми песками с прослоями супесей и суглинков.

В пределах Нижневартовского района участок среднего течения Оби имеет длину 134 км, ширину поймы от 18 до 20 км. Средний многолетний расход воды этого участка изменяется от 5 634 м<sup>3</sup>/с [52]. Основными реками второго и третьего порядка являются р. Вах, р. Аган от впадения р. Тромъеган до истока р. Аган. Остальные реки являются придаточными водотоками рек Вах и Аган.

По характеру водного режима реки относятся к типу рек с весенне-летним половодьем и паводками в теплый период года. Питание рек снеговое. Река Обь в среднем ее течении протекает в пределах тайги и принимает ряд многоводных притоков, что обуславливает увеличение водоносности. Ширина реки от 30 до 50 км, а пойма Оби расширяется до 20-30 км, это связано с тем, что пойма в среднем течении изобилует протоками и старицами. Также в пойме Оби существует множество островов, что связано с морфологией поймы. Продолжительность половодья составляет в среднем 60—130 дней. Появление на реках ледовых образований характерно для второй половины октября — начала ноября. Средняя продолжительность ледостава 180—200 дней. Русло реки Оби на данном участке отличается многорукавностью. Долина становится плоской, широкой и полноводной.

Синлитогенные почвы на глинистых и суглинистых отложениях формируются в условиях пойменного режима под злаковыми лугами и пойменными лесами и представлены аллювиальными иловато-торфяно-глеевыми, аллювиальными дерново-глеевыми почвами с сериями травяных низинных болот, заболоченных и настоящих лугов, мелколиственных, смешанных и темнохвойных или сосновых лесов с основными видами растительности; *Salix*, *Populus tremula*, *Pinus sylvestris*, *Calamagrostis*, *Poa*, *Sanguisorba officinalis*, *Thalictrum*, *Filipendula ulmaria*, *Galium*

boreale, Anemone, Ranunculus, Vicia cracca, Sonchus, Leontodon, Carex, Viburnum, Rosa acicularis, Rubus idaeus [53].

### ***5.1. Стационарные наблюдения в пределах широтного отрезка реки Оби.***

Стационар «Усть-Вахский» расположен на широтном отрезке среднего течения реки Оби, на правом берегу.

Русловые изменения береговой линии происходят благодаря функционированию эрозионно-аккумулятивных систем и характеризуются формированием русел водотоков в зависимости от водности потока, параметра и формы русла, стока наносов и других характеристик, позволяющих выделять соответствующие типы русловых процессов и морфодинамических типов русла. Проблема безопасного хозяйствования в зоне развития боковой эрозии очень актуальна в России, в особенности для Западной Сибири, которая в высокой степени подвержена негативному влиянию русловых деформаций [54].

Репрезентативность рассмотренного участка заключается в интенсивном проявлении эрозионного размыва берегового склона. Экспозиция склона, легко размываемый литологический состав, а также максимальное гидродинамическое давление на берег при впадении реки Вах в Обь и позволяют выявить данный участок как наиболее сильно подверженный размыву.

Эрозионная активность реки Оби в пределах Нижневартовского района исследуется с 1974 г. Данный стационар был заложен Тюменской комплексной геологоразведочной экспедицией в пределах города Нижневартовска. В 1980 г. данный стационар из-за активной хозяйственной деятельности перенесли в район устья реки Вах и до 1994 г. были получены данные по отступанию берега. В 2001 г. наблюдения на данном стационаре были восстановлены студентами и сотрудниками Нижневартовского государственного педагогического института (сейчас НВГУ — Нижневартовский государственный университет) [52]. Максимальные скорости отступления были зафиксированы в 17,5 м/год на 5 створе. Если учитывать активность среднегодовую, то показатели изменялись от 7,8 м/год в 2002 г. до 0,7 м/год в 2012 г. (рис. 8).

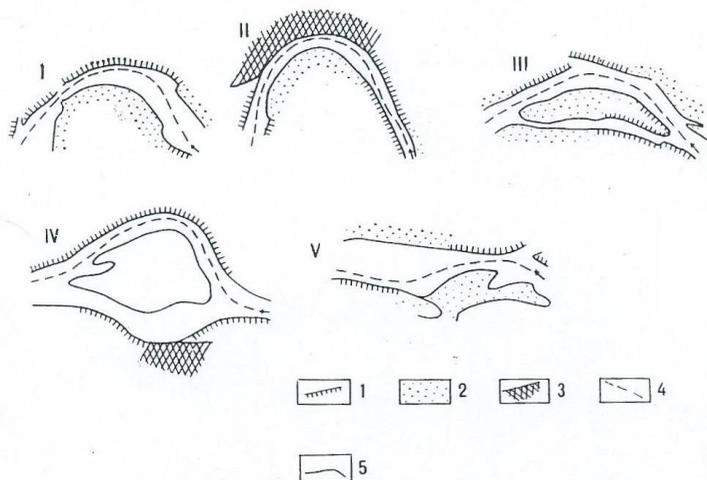


**Рис. 8. Стационар «Усть-Вахский» [52]**

Опасность эрозионной деятельности заключается в том, что основные населенные пункты Нижневартовского района располагаются в береговых зонах. Таким образом, территории населенных пунктов подвержены влиянию эрозии, что приводит к уменьшению их площади, при этом происходит уничтожение жилых строений, разрушение кладбищ, сельскохозяйственных угодий. Поэтому на сегодняшний день наблюдение за изменениями береговых зон является актуальной проблемой. На региональном уровне работы по мониторингу эрозионной деятельности ведутся на уровне администраций округа и района.

Данные об излучинах средней Оби и их деформациях были получены путем сопоставления лоцманских карт 1928 и 1968 гг. и анализа разновременных АФС. Для каждой излучины определялись основные параметры — радиус кривизны, стрела прогиба, шаг излучины, длина русла по фарватеру, средняя ширина русла. Обобщение морфометрических показателей проводилось по морфогенетическому и динамическому принципам. В основу первого положены размеры, форма и генезис излучин, второго — деформации и их типы. Выделенные категории излучин не имеют определенного таксономического ранга и условно именуется типами.

Для главного русла средней Оби выделено пять морфогенетических типов излучин (рис. 9): собственно-свободные (I); адаптированные (II); прорванные (III); бифуркационные (IV); инверсионные (V). Каждому типу свойственны диагностические показатели. Так, собственно-свободные излучины фиксируются пойменными легко размываемыми берегами и характеризуются однорукавным руслом. Адаптированные излучины касаются вогнутым берегом склона надпойменной террасы, прорванные — имеют спрямляющую протоку, которая активизируется во время половодья. Для бифуркационных пойменно-островных излучин характерны два рукава примерно одинаковых размеров. Каждый из них может быть основным руслом определенное число лет, продолжительность его существования зависит от скорости перемещения побочня к устью протоки. Инверсионные излучины имеют неясные плановые очертания, ширина межженного русла шире по сравнению с другими типами излучин. Форма этих излучин связана с блужданием динамической оси потока при попеременном приращении побочней к правому и левому берегу.



**Рис. 9. Типы излучин средней Оби по данным О.И. Баженова (1974)**  
 I — собственно-свободные; II — адаптированные, III — прорванные; IV — бифуркационные; V — инверсионные.  
 1 — берег пойменный размываемый; 2 — берег пойменный намываемый; 3 — терраса; 4 — динамическая ось потока; 5 — русло.

Все формы русел отражают вид горизонтальных русловых деформаций — изменений конфигурации русел рек, связанных с размывами/намывами берегов, в результате чего меняется их положение на дне речной долины. Все горизонтальные русловые деформации могут быть объединены в три вида: меандрирование, разветвление на рукава, смещение относительно прямолинейных неразветвленных русел. При этом образуется пойма, которая будучи производной русловых деформаций и зоной разлива рек во время половодья, во многом определяет условия развития самих русловых деформаций.

Интенсивность русловых деформаций и, как следствие, ширина поймы и ее соотношение с шириной русла определяется геолого-геоморфологическими условиями формирования русел. Наиболее интенсивно горизонтальные русловые деформации протекают без ограничений в легкоразмываемых породах — песках, галечниках, супесях, лессовидных суглинках. Трудно размываемые скальные и глинистые породы ограничивают горизонтальные русловые деформации. В первом случае преобладают широкопойменные русла, свободно меандрирующие или разветвленные на рукава, чаще всего имеющие двустороннюю пойму, а при их расположении вдоль коренного борта долины — относительно прямолинейное разветвленное с односторонней поймой. Во втором случае формируются врезанные русла с узкими, часто фрагментарными поймами или вообще без пойм. Преобладание пород средней прочности к размыву обуславливает промежуточные условия формирования русел: горизонтальные русловые деформации наблюдаются в сравнительно неширокой долине, в которой ширина поймы составляет не более 2-3 ширин русла. При этом русло последовательно переходит от одного борта до долины к другому, сопровождаясь чередующейся поймой.

Реки Обь и Иртыш представляют собой важнейшие природно-хозяйственные объекты территории ХМАО – Югры. Они являются основными транспортными артериями, используются для водоснабжения, рыболовства. Через них проложены различные коммуникации, имеющие в том числе и федеральное значение: мосты, трубопроводы, линии электропередач. На их берегах расположены крупные города и большая часть населенных пунктов округа.

Русло реки Оби в пределах округа по данным Н.В. Анисимовой, А.С. Завадского, С.Н. Рулевой, В.В. Суркова, А.М. Тарбеевой, А.В. Чернова, представленным в атласе Ханты-Мансийского автономного округа – Югры 2004 года, формируется в условиях свободного развития русловых деформаций.

## ***5.2. Метод картографирования.***

Лоцманские карты — карты реки, канала и других водных путей (масштаб 1:2 000-1:25 000) с указанием берегов, направлений течений, опасных для судоходства мест и основных знаков судоходной обстановки. Лоцманские карты — важнейший документ для судоводителей.

Карта, использованная в данном методе, охватывает участок реки Оби от селения Соснино до устья Иртыша протяженностью 583 км и участок нижней части Иртыша протяженностью 25 км — от устья до города Ханты-Мансийска.

Листы карты составлены в проекции Гаусса-Крюгера в масштабе 1:25 000.

Лоцийные сведения, помещенные на листах карты, содержат наиболее важные извлечения из действующих правил плавания, рекомендации и предупреждения, направленные на обеспечение безопасности судоходства, и другие полезные судоводителю лоцийные описания.

Судоходная обстановка на листах карты показана по состоянию в навигацию 1979 года. Судоходная обстановка и лоцийные сведения согласованы с Судоходной инспекцией Иртышского бассейна и со Службой безопасности судовождения Иртышского речного пароходства.

При составлении карты использованы:

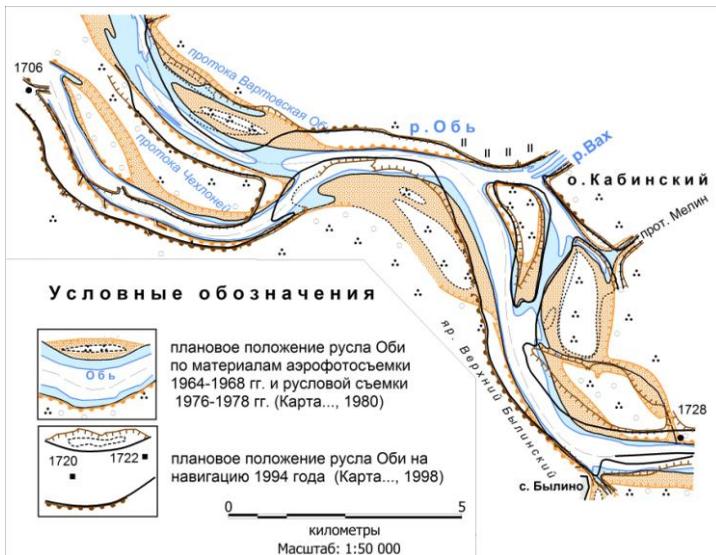
1. Лоцманская карта реки Оби от селения Соснино до устья Иртыша, издание 1970 г.
2. Материалы русловых съемок, выполненных в 1976—1978 гг. изыскательскими партиями Сургутского и Ханты-Мансийского технических участков.
3. Материалы промера, выполненного специализированной партией Иртышского бассейнового управления пути в 1978 г.
4. Материалы аэрофотосъемки, выполненной в 1964—1968 гг.

При плавании по реке Оби от селения Соснино до устья Иртыша надлежит пользоваться картой, откорректированной на дату плавания.

Карта составлена сотрудниками специализированной изыскательской партии Иртышского бассейнового управления пути под руководством начальника партии В.А. Пономарева. В составлении лоцийных сведений и рекомендаций для плавания принимали участие капитаны-наставники Иртышского речного пароходства Р.С. Круткин и Б.Я. Токарев, а также лауреат Государственной премии капитан М.П. Листопадов.

Карта отредактирована и подготовлена к изданию в главной редакции речных карт при управлении Волго-Балтийского водного пути им. В.И. Ленина, ведущий редактор карты И.Ф. Резник.

Изучение величин береговых деформаций крупных рек должно базироваться преимущественно на использовании аэрофотоснимков и топокарт, так как использование лоцманских карт, в силу их высокой генерализованности, позволяет только проследить тенденцию размыва к замедлению или интенсификации (рис. 10).



**Рис. 10. Карта-схема фиксации изменений береговой линии участка долины р. Оби на основе лоцманских карт [52]**

Характеристики размыва, вычисленные по корректно совмещенным логам, часто значительно отличаются от характеристик, полученных на основе совмещения аэрофотоснимков или топокарт тех же масштабов.

### **5.3. Метод дешифрирования космоснимков**

Этот метод заключается в оцифровке береговой линии на космоснимках с использованием программы MapInfo Professional.

Космоснимки, использованные в ходе работы, были предоставлены Лабораторией информационно-космических технологий Югорского Научно-исследовательского института информационных технологий.

Были использованы космоснимки за 1982, 1994, 2001 и 2014 гг.

Ход работы:

1. Выборка более удачных, оптимизированных к задаче, космоснимков за каждый представленный год.
2. Загрузка космоснимков в программу MapInfo Professional.
3. Проверка привязки космоснимков путем подгрузки уже привязанных таблиц (гидрография линейная и гидрография полигональная).
4. Оцифровка исследуемой территории береговой линии реки Оби.
5. Подсчет площади размывной территории путем создания полигональных объектов между оцифрованными береговыми линиями.
6. Составление отчета и анализ проделанной работы (рис. 11).



**Рис. 11. Отчет по методу дешифрирования космоснимков**

Из проделанной работы методом дешифрирования получили площадь потерянной земли, равную 842 000 м<sup>2</sup>. Полученный результат относится к временному отрезку в 32 года.

#### ***5.4. Полевой метод с применением систем спутникового позиционирования.***

Основными достоинствами спутниковых систем позиционирования является их глобальность, оперативность, всепогодность, оптимальная точность и эффективность.

Во время исследования была проведена работа по определению координат и высоты характерных точек береговой линии в районе эрозионной активности г. Нижневартовска по берегу реки Оби. На территорию исследования было совершено 5 выездов, ниже представлена краткая информация о совершенных маршрутных работах (табл. 1).

*Таблица 1*

**Краткая характеристика маршрутных работ**

<b>Дата заезда</b>	<b>Продолжительность</b>	<b>Количество отснятых точек</b>
09.12.2013	С 8:22 до 12:42 (4 часа 20 минут)	126
01.10.2014	С 10:30 до 15:37 (5 часов 7 минут)	310
18.11.2014	С 8:22 до 12:24 (4 часа 2 минуты)	118
15 и 20.10.2015	15 — 6 часов 20 — 4 часа 30 минут	165

Продолжительность работ отсчитывалась от первой отснятой точки и до последней.

В ходе данных маршрутных работ были произведены: оценка береговой линии, анализ уклонов и экспозиции склонов — в дальнейшем это послужит основой для построения карт, расчета площадей и объемов размыва.

Используемое оборудование:

Основное оборудование — два приемника GNSS модели LeicaGS10 и контроллер, с помощью которого задаются настройки режима съемки. Дополнительное оборудование — триггер с уровнем, с помощью которого приемник устанавливается на треногу, трехметровая рулетка для измерения высоты, вешка и рейка (приложение 8, рис. 1).

В ходе проделанной работы была проведена установка базы, на приемник которой ведется запись данных. Устанавливалась база на точку государственной геодезической сети с известными координатами (пункт ОМС — опорной межевой сети), чтобы осуществить привязку координат. Время работы базы — продолжительность всего исследования, режим съемки — статика (приложение 8, рис. 2).

Далее со вторым приемником (роверным приемником) мы продвигались по заданному пути исследования.

Определение статичных объектов (закрепленных точек). Время записи в нашей работе — до получаса, режим съемки — статика (время при съемке в статике нужно увеличивать с увеличением расстояния от места исследования до базы для точности получения результатов) (приложение 8, рис. 3).

Съемка в режиме кинематики. Время записи до одной минуты. В этом режиме требуется нажимать кнопку START, а по истечении нужного времени (в нашем исследовании — 1 минута) снова нажать START и двигаться к следующей точке (приложение 8, рис. 4).

В заезде 1 октября 2014 г. использовалось оборудование с поддержкой режима RTK — Real Time Kinematic. Это обстоятельство увеличило темп работы в данный заезд, что отразилось в улучшении информативности маршрутных работ, а именно в количестве отснятых точек (гораздо больше, чем в другие заезды).

Съемка в режиме RTK осуществляется путем использования двух GNSS-приемников, оснащенных модемами, которые поддерживают между собой постоянную связь. Время записи — постоянно. В этом режиме задается определенный период времени или расстояния и через этот период времени/расстояния, будет произведена запись точки. Во время съемки RTK не следует нарушать вертикальность вешки, и необходимо следить за количеством видимых спутников, параметром PDOP (Geometric Dilution of Precision — геометрическое снижение точности). Если будет нарушена вертикальность вешки, то запись не будет либо она будет неточной (приложение 8, рис. 5).

В результате мы получили точки с координатами. Сначала данные были обработаны в программе LeicaGeoOffice (приложение 9) и приведены в порядок. Далее они могли быть представле-

ны в различном виде: путем конвертации данных из одной программы в другую, будь то каталог координат (экспортированный из программы LeicaGeoOffice) или обычная таблица в Excel. Каталог координат (приложение 10) в дальнейшем можно прогрузить в виде данных в ГИС программы, например MapInfo, или же загрузить координаты в программу Гугл Планета Земля, чтобы наглядно на космоснимке увидеть место исследования.

В программе Гугл Планета Земля имеются свои особые функции, как, например, демонстрация исторических (прошлых) космоснимков (рис. 12). По отображаемым на космоснимке отснятым точкам мы уже можем увидеть изменение береговой линии реки Оби.

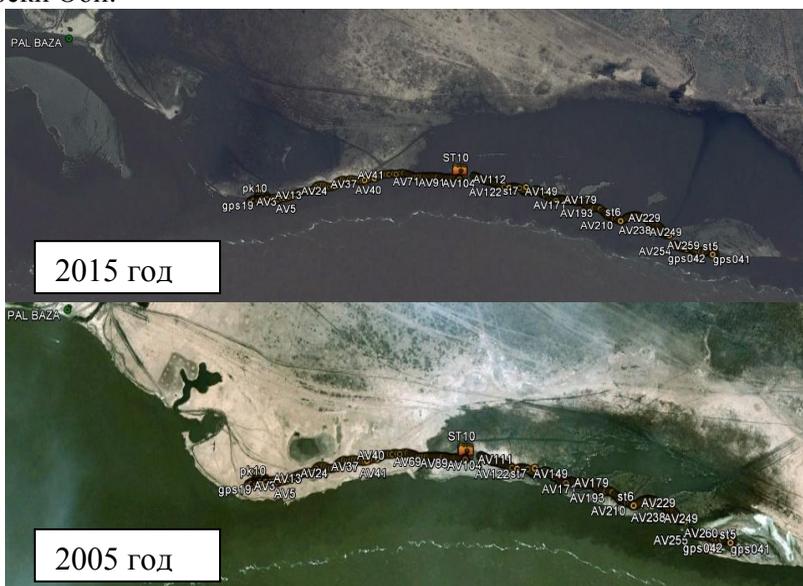


Рис. 12. Космоснимки за 2015 и 2005 гг.

Подводя итог по трем методам, можно отметить:

По картографическому методу можно проследить лишь тенденцию к размыву.

По методу дешифрирования космоснимков была определена площадь потерянной земли в результате русловых деформаций за период в 32 года, равная 842 000 м<sup>2</sup>.

С применением спутникового оборудования были определены координаты точек береговой линии, их высота, рассчитаны русловые деформации для каждого створа и площадь размыва за период с 2014 по 2015 гг., равная 29 472 м<sup>2</sup>.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материалы дистанционной съемки иллюстрируют интегральные характеристики различных свойств земной поверхности, которые могут проявляться с помощью индикационных признаков ландшафта через яркостные параметры, геометрию образа, структуру и текстуру изображения. Таким образом, использование космоснимков в различных спектральных диапазонах и в разные годы позволяет не только устанавливать общие крупные черты геоморфологического строения дельтовых равнин, определять границы голоценовых дельт и динамику береговых процессов рек, но также выделять геоморфологические районы, крупные формы и элементы рельефа, выявлять главные тенденции развития русел, дельт и направленность формирующих их процессов. То же самое можно сказать и о рельефе в целом.

В данной работе мы стремились показать различные методы геолого-геоморфологического дешифрирования снимков, выявить их основные преимущества и недостатки, а также попытались количественно оценить степень достоверности получаемых результатов.

Был собран и обобщен материал по природным характеристикам дельт рек Лены и Яны, рассмотрена история их развития в течение голоценового периода. В ходе выполнения практической части исследования были показаны возможности программных продуктов Erdas Imagine 2013 и ArcGis 9.3 в степени, достаточной для выполнения картографических работ.

По итогам работы была создана геоморфологическая карта для территории дельты реки Яны масштаба 1:200 000 с использованием методики, объединяющей в себе контролируемую классификацию и визуальное дешифрирование. Также была выделена линеаментная структура дельты.

С помощью анализа природных процессов широтного колена Оби и математической обработки АФС-изображений и космоснимков удалось получить уникальные данные по берегоформирующим процессам в стационарных условиях с целью экстраполяции полученных данных для всего изучаемого участка с позиций регионального геоморфологического анализа.

Полученные результаты могут быть использованы в качестве основы для уточнения и проведения дальнейших исследований любой похожей территории при организации полевых работ в ходе экспедиций, для изучения экзогенных и эндогенных процессов, протекающих на территории Арктики и Субарктики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Список литературы, цитируемой в тексте пособия

1. Абрамова Е.Н., Ахмадеева И.А., Гуков А.Ю., Лабутин Ю.В., Пуляев А.И., Соловьева Д.В. Усть-Ленский заповедник // Заповедники Сибири. М.: Логата, 1999. Т. 1. С. 147—161.
2. Аксенов А.А., Можаяева В.Г., Воробьев В.Т. и др. Дистанционные исследования при нефтегазопроисловых работах. М.: Наука, 1988. 224 с.
3. Бельчусова Г.В., Дегтярев А.Г., Егорова А.А., Сыроечковский-младший Е.Е. Водно-болотные уголья России. Дельта реки Яна. Режим доступа: <http://www.fesk.ru/wetlands/204.html>
4. Большиянов Д.Ю., Макаров А.С., Шнайдер В., Штоф Г. Происхождение и развитие дельты реки Лены. СПб.: ААНИИ, 2013. 268 с.
5. Геоморфологическая карта СССР под редакцией И.П.Герасимова. Масштаб 1: 2 500 000. Академия наук СССР, Институт географии, 1981.
6. Григорьев М.Н. Криоморфогенез устьевой области р. Лены. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 1993. 176 с.
7. Гусев А.И. Рельеф песчаной террасы в дельтах рек, впадающих в море Лаптевых. Труды НИИГА. 1960. Т. 114. Вып. 14. С. 173—179.
8. Жиров А.И., Ласточкин А.Н., Лопатин Д.В. и др. Геоморфология. М.: Изд. центр «Академия», 2005. 528 с.
9. Златопольский А.А. Особенности определения направления естественных объектов и текстур по растровым дистанционным данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений: Сб. науч. ст. М.: ООО «Азбука-2000», 2007. Вып. 4. Т. 1. С. 52—56.
10. Златопольский А.А. Методика измерения ориентационных характеристик данных дистанционного зондирования (технология LESSA) // Пятая юбилейная открытая всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования

Земли из космоса». М.: ООО «Азбука», 2008. Т. 1. Вып. 5. С. 102—112.

11. Исаев А.С., Волков И.А., Седых В.Н. и др. Дистанционные исследования ландшафтов / Под ред. А.Л. Яншина, В.А. Соловьева. Новосибирск: Наука (сибирское отделение), 1987. 196 с.

12. Кандрюкова Н.А. Геоморфологическая и линейная структура дельты реки Лены по материалам дистанционной съемки // Вестник СПбГУ. 2014. Сер. 7. Вып. 1. С. 168—175.

13. Карта четвертичных отложений СССР / Под ред. Г.С. Ганешина. Масштаб 1: 2 500 000. ВСЕГЕИ, 1973.

14. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований. М.: Изд. центр «Академия». 2004. 336 с.

15. Коротаев В.Н. Геоморфология речных дельт. М.: Изд-во МГУ, 1991. 224 с.

16. Коротаев В.Н. и др. Формирование дельты реки Яны и прогноз развития ее устьевых баров // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1978. Вып. 6. С. 123—158.

17. Коротаев В.Н. Формирование гидрографической сети Ленской дельты в голоцене // Вестник МГУ. 1984, Сер. «География». № 6. С. 39—44.

18. Коротаев В.Н. Голоценовая история речных дельт арктического побережья Сибири // География и природные ресурсы. 2011. № 3. С. 13—20.

19. Короткий А.М., Худяков Г.И. Экзогенные геоморфологические системы морских побережий. М.: Наука, 1990. 216 с.

20. Корчуганова Н.И. Геологические структуры на космических снимках // Соросовский Образовательный Журнал. 1998. № 10. С. 60—67.

21. Кравцова В.И. Космические методы картографирования. М.: Изд-во МГУ, 1995. 215 с.

22. 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.

23. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. М.: Аспект Пресс, 2004. 182 с.

24. Левашов К.К. Среднепалеозойская рифтовая зона востока Сибирской платформы // Сов. геология. 1975. № 10. С. 37—38.

25. Ломаченков В.С. Новейшие тектонические структуры в современном рельефе Яно-Индигорской низменности и прилегающего шельфа // Антропогенный период в Арктике и Субарктике. Труды НИИГА. М.: Недра, 1965. Т. 143. С. 346—349.

26. Лопатин Д.В. Геоморфологический криптоморфизм как отражение строения литосферы // Вестник СПбГУ. 2008. Сер. 7. Вып. 1. С. 48—54.

27. Обиралов А.И., Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А. Фотограмметрия и дистанционное зондирование. М.: Изд-во «Колосс», 2006. 334 с.

28. Панин А.В. Влияние геолого-геоморфологических факторов на морфологию русел крупных рек Восточной Сибири (на примере р. Яны) // Геоморфология. М., 1990. № 1. С. 73—80.

29. Смирнов Л.Е. Аэрокосмические методы географических исследований: Учебник. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005. 348 с.

30. Чернова И.Ю., Нугманов И.И., Кадыров Р.И. Автоматизированный линеаментный анализ: Учебно-методическое пособие). Казань: Казанский (Приволжский) федеральный ун-т, 2012. 38 с.

31. Усть-Ленский Заповедник. Режим доступа: <http://oopt.info/ulensk/index.html>

32. <http://earthexplorer.usgs.gov/>

33. <http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/dvfo/yakutia> (ВСЕГЕИ, Карта тектонического районирования и геологическая карта Якутии).

### **Список дополнительной литературы**

#### ***Авторские основные труды по прикладным задачам дистанционных исследований***

34. Лопатин Д.В. Анализ структур фундамента Восточно-Европейской платформы дистанционными методами // Исследование Земли из космоса. 1981. № 6.

35. Лопатин Д.В., Луговенко В.Н., Пронин В.П. Изучение Западно-Сибирской плиты методами дистанционного анализа //

Экспериментальные исследования геомагнитного поля. М.: ИЗМИРАН, 1984.

36. Лопатин Д.В. Отражение структур фундамента нефтегазонасных провинций Восточно-Европейской платформы на космических снимках // Космическая информация в геологии. М.: Наука, 1983. 535 с.

37. Лопатин Д.В., Пронин В.П. Корреляция геофизических полей. М.: Наука, 1991. 254 с.

38. Принципы и методика дистанционных исследований при прогнозировании и поисках полезных ископаемых / Отв. ред. и автор статей Д.В. Лопатин. СПб.: ВСЕГЕ, 1992. 144 с.

39. Лопатин Д.В. Использование орбитальной информации для изучения тектонических структур Северной Евразии // Исследование Земли из космоса. 1996. № 4.

40. Лопатин Д.В. Геоморфологическое картирование на основе математической обработки многозональных космических снимков высокого пространственного разрешения // Доклады РАН. 1997. Т. 354. № 6.

41. Лопатин Д.В. Структурно-металлогеническая модель фундамента Восточно-Европейской платформы по данным тектономагматических реконструкций и орбитальных исследований // Исследование Земли из космоса. 2000. № 1.

42. Лопатин Д.В. Геоморфологическая индикация глубинного геол. строения по данным орбитальных наблюдений на примере Верхоянья и юга Дальнего Востока // Геоморфология. 2000. № 3.

43. Лопатин Д.В. Поиски трубок взрыва на территории Восточно-Европейской платформы с использованием аэрокосмической информации // Исследование Земли из космоса. 2001. № 1.

44. Лопатин Д.В. Линеamentная тектоника и месторождения-гиганты Северной Евразии // Исследование Земли из космоса. 2002. № 2.

45. Лопатин Д.В., Антонов О.М., Журавлёв А.В. и др. Новейшая геодинамика южной части Схотэ-Алиньского орогена по данным цифровой обработки космических изображений земной поверхности, глубинного строения и сейсмичности // Региональная геология и металлогения. 2003. № 17.

46. Лопатин Д.В. Дистанционные исследования криптоморфных геоморфологических структур // Геоморфология. 2006. № 2.

47. Лопатин Д.В. Криptomорфные ансамбли литосферы. Отображение их на снимке и в рельефе // Доклады Академии наук. 2008. Т. 421. № 5. С. 685—688.

48. Лопатин Д.В., Шавель Н.И. Комплексный линеаментный анализ Орловско-Спокойненского рудного поля (Восточное Забайкалье) // Вестник СПбГУ. 2010. Сер. 7. Вып. 4.

49. Лопатин Д.В. Геоморфологическая индикация глубинных рудоносных структурных форм // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2011. № 1.

50. Лопатин Д.В., Томилов Б.В., Шавель Н.И. Комплексное прогнозирование редкометалльных штоков на Орловско-Спокойненском рудном поле (Восточное Забайкалье) с использованием геоморфологических и дистанционных методов // Региональная геология и металлогения. 2011. № 47.

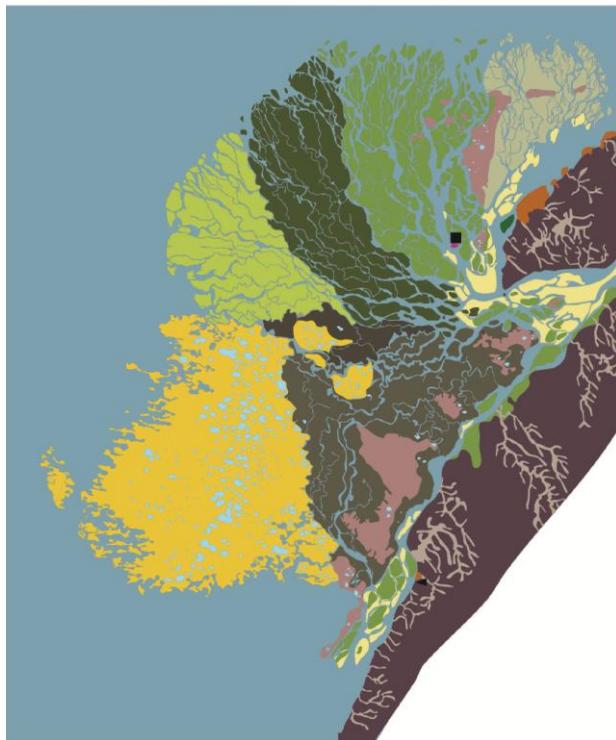
51. Лопатин Д.В. Природа криptomорфных геоморфологических структурных форм // Вестник НГГУ. 2012. № 1.

52. Коркин С.Е. Природные опасности в долинных ландшафтах Среднего Приобья: Монография. Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гуманит. ун-та, 2008. 226 с.

53. Korkin S., Korkina E., Talyneva O. Risks of exogeodynamic processes in latitudinal segment of the Ob river / ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. ARPN V. 11. 2016. № 19. P. 333—337.

54. Коркин С.Е., Миронова Н.С., Кайль Е.К. Противоэрозионная организация территории в восточной части широтного отрезка реки Оби на основе мониторинговых данных / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 6—1. С. 104—109.

# Геоморфологическая карта дельты реки Лены [4]



## Аккумулятивный рельеф

Аллювиально-морская терраса, возраст:

- 6000 лет
- 6000-4000
- 3000
- 2500-3000
- 1500-800
- 1200-500

Террасы с. Чук-Ары, сложенные грубо обломочными породами, высотой 12 м, возрастом .....  
 Террасы с. Чук-Ары, сложенные грубо обломочными породами, высотой 12 м, возрастом от 200 лет до нашего времени  
 Колуса выхота отложеный талых ледниковых вод, возрастом 500-200лет

## Денудационный рельеф

- Структурно-денудационный рельеф, максорий, сложенных породами до-эвартинского возраста
- Неприкрытые долины водотока
- Террасированная, оставшаяся по высоте до 50 м, сложенная породами позднего кайнозоя
- Остатки террасированной долины, сложенные породами Чук-Ары, высотой 20-22 м
- Эоловые-образованный останки с. Сарды высотой до 50 м, сложенные породами меловая
- Старые котловины, террасированного заполнения воды, высотой террасовая, уровень

## Внешишавые условия обозначения

- ▲ Бисайская терраса возрастом 138 000 лет и высотой до 30 м
- Бисайская терраса возрастом 48 000 лет и высотой 10-15 м

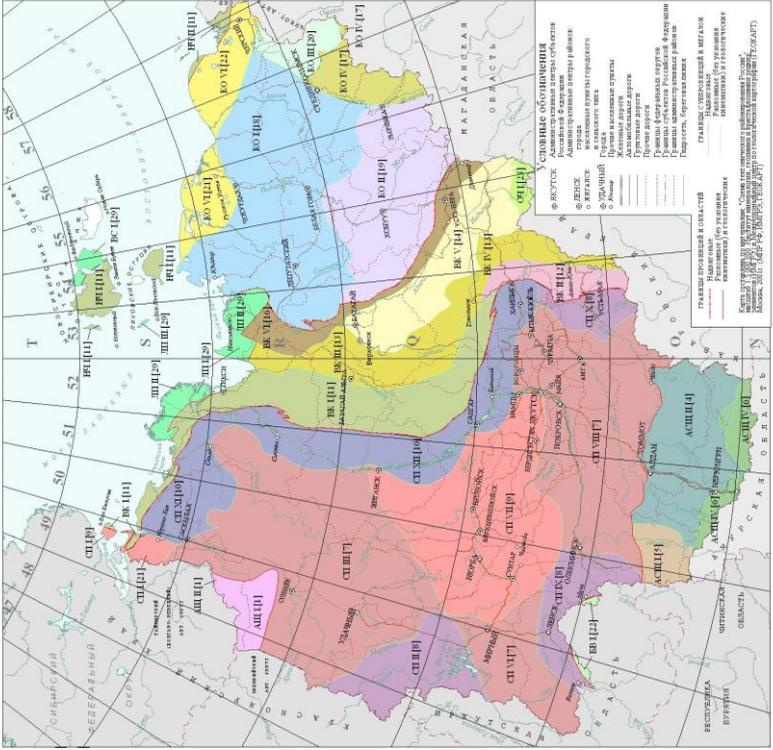
# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

**Региональные государственные системы**

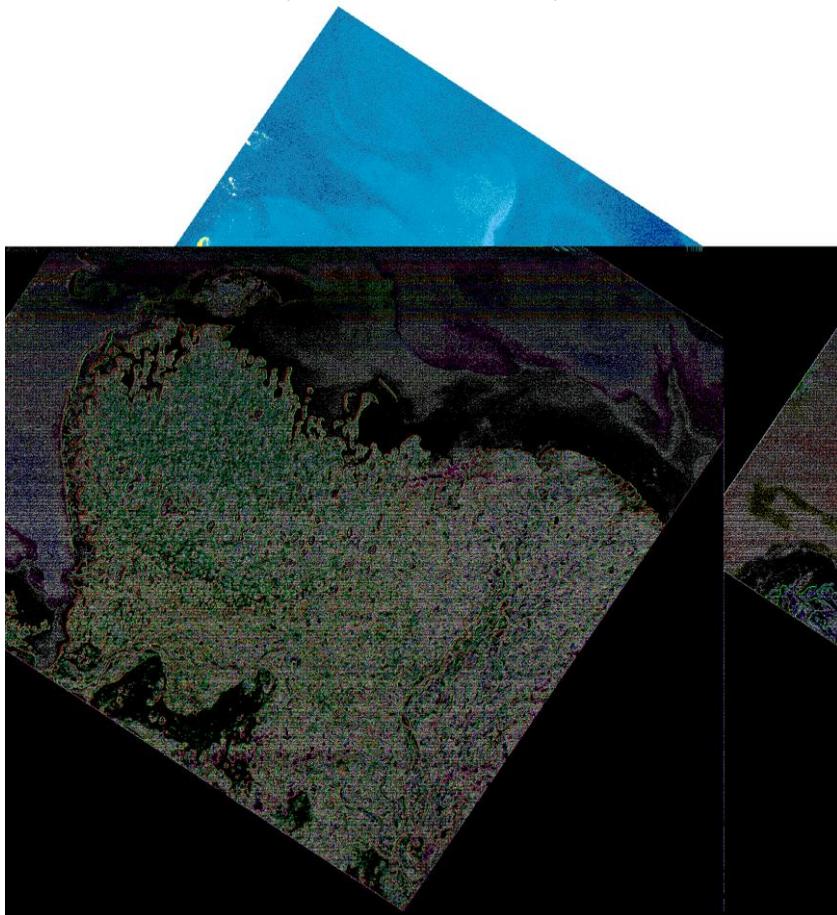
- 1 Колпашевские (румыл-сербские и пинские поветы)
- 2 Колпашевские (румыл-сербские поветы), савановские, колпашевский уезд, уездный казначейский и казенный комитетский округа
- 3 Колпашевские (румыл-сербские поветы), савановские, колпашевский уезд, уездный казначейский и казенный комитетский округа
- 4 Колпашевские (румыл-сербские поветы), савановские, колпашевский уезд, уездный казначейский и казенный комитетский округа
- 5 Колпашевские (румыл-сербские поветы), савановские, колпашевский уезд, уездный казначейский и казенный комитетский округа
- 6 Колпашевские (румыл-сербские поветы), савановские, колпашевский уезд, уездный казначейский и казенный комитетский округа
- 7 Колпашевские (румыл-сербские поветы)
- 8 Олушанский (савановский, перемышльский, протский)
- 9 Олушанский (савановский, перемышльский, протский)
- 10 Гуровские округа (сформированы суконнокаменского уезда)
- 11 Кременд-протский
- 12 Могилевский (савановский, перемышльский, протский)
- 13 Псковичские пинские поветы и пинские уездные казначейский и казенный комитетский округа
- 14 Псковичские пинские поветы и пинские уездные казначейский и казенный комитетский округа
- 15 Псковичские пинские поветы и пинские уездные казначейский и казенный комитетский округа
- 16 Могилевский (савановский, перемышльский, протский)
- 17 Псковичские пинские поветы и пинские уездные казначейский и казенный комитетский округа
- 18 Псковичские пинские поветы и пинские уездные казначейский и казенный комитетский округа
- 19 Псковичские пинские поветы и пинские уездные казначейский и казенный комитетский округа
- 20 Псковичские пинские поветы и пинские уездные казначейский и казенный комитетский округа
- 21 Островские пинские поветы и пинские уездные казначейский и казенный комитетский округа
- 22 Островские пинские поветы и пинские уездные казначейский и казенный комитетский округа
- 23 Могилевский (савановский, перемышльский, протский)
- 24 Островские пинские поветы и пинские уездные казначейский и казенный комитетский округа
- 25 Островские пинские поветы и пинские уездные казначейский и казенный комитетский округа

**ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ  
РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)  
КАРТА РЕГИОНАЛЬНОГО РАЙОНИРОВАНИЯ**

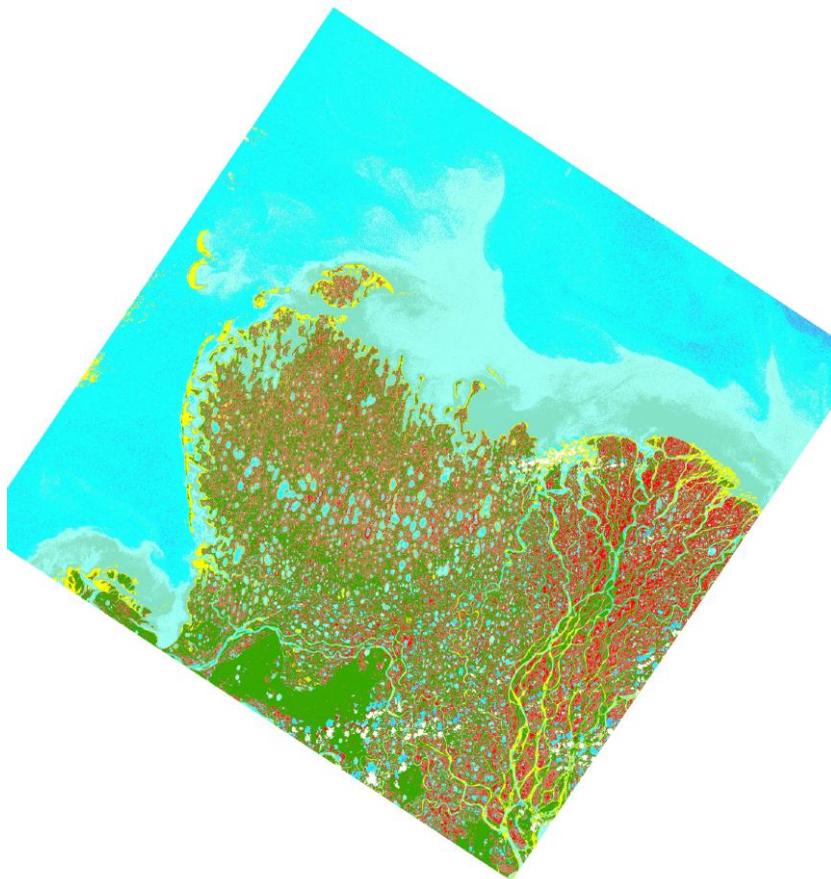


в 1 сантиметре 100 километров

**Приложение 3**  
**Результат неконтролируемой классификации снимка**  
**(выделено 7 классов)**

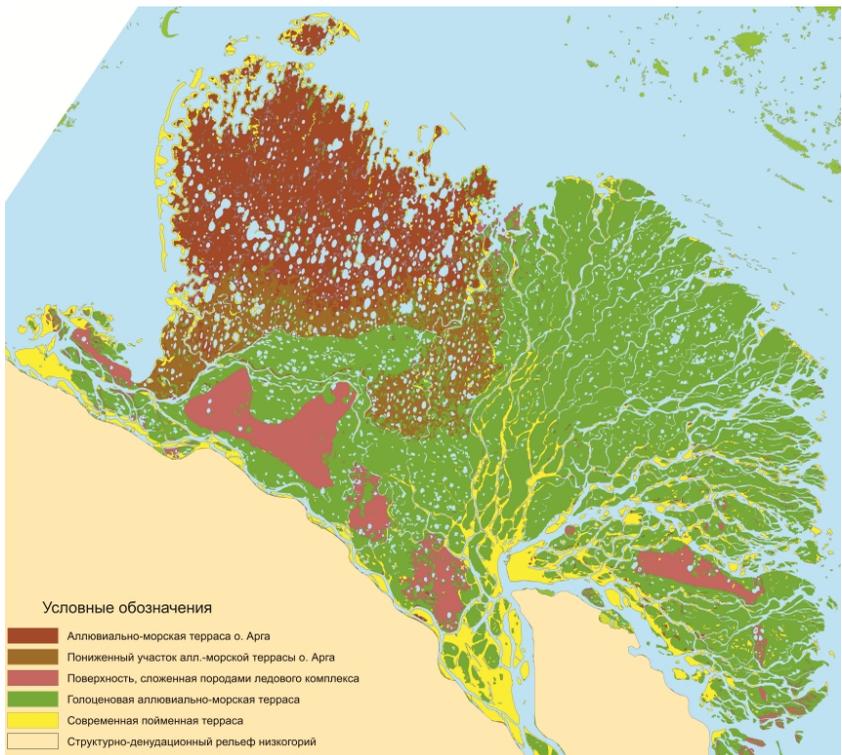


**Приложение 4**  
**Результат неконтролируемой классификации снимка**  
**(выделено 9 классов)**



## Приложение 5

### Геоморфологическая схема дельты реки Лены, составленная по результатам контролируемой классификации



## Приложение 6

### Статистические данные линеаментов дельты реки Яны

	Азимут линеамента	Длина, м	Сравнительный коэффициент длины
1	7	11239	1,6
2	9	2810	0,4
3	12	15454	2,2
4	12	6322	0,9
5	15	9834	1,4
6	15	6322	0,9
7	16	16859	2,4
8	19	14049	2
9	21	2810	0,4
10	23	19669	2,8
11	23	2810	0,4
12	24	16859	2,4
13	28	10537	1,5
14	28	8429	1,2
15	28	9834	1,4
16	29	25991	3,7
17	29	2107	0,3
18	30	4917	0,7
19	31	2107	0,3
20	32	1405	0,2
21	32	7025	1
22	33	9132	1,3
23	33	14049	2
24	33	16156	2,3
25	33	13347	1,9
26	33	8429	1,2
27	34	4215	0,6
28	35	3512	0,5
29	35	2107	0,3
30	35	7727	1,1
31	35	4917	0,7
32	35	1405	0,2
33	35	4215	0,6
34	36	7025	1
35	37	1405	0,2
36	37	3512	0,5
37	43	3512	0,5

38	51	12644	1,8
39	56	8429	1,2
40	62	6322	0,9
41	67	10537	1,5
42	71	14049	2
43	71	3512	0,5
44	72	12644	1,8
45	73	2107	0,3
46	86	7025	1
47	86	15454	2,2
48	88	36528	5,2
49	89	13347	1,9
50	90	5620	0,8
51	90	22479	3,2
52	92	15454	2,2
53	93	14049	2
54	93	16859	2,4
55	106	20371	2,9
56	107	21074	3
57	107	12644	1,8
58	108	12644	1,8
59	109	22479	3,2
60	109	8429	1,2
61	111	3512	0,5
62	112	15454	2,2
63	117	21074	3
64	117	8429	1,2
65	121	5620	0,8
66	124	7025	1
67	126	14752	2,1
68	126	11942	1,7
69	127	15454	2,2
70	128	6322	0,9
71	129	12644	1,8
72	130	17561	2,5
73	130	28098	4
74	134	17561	2,5
75	135	11942	1,7
76	135	9834	1,4
77	144	11942	1,7
78	167	11239	1,6

**Геоморфологическая схема дельты реки Яны  
по результатам контролируемой классификации**

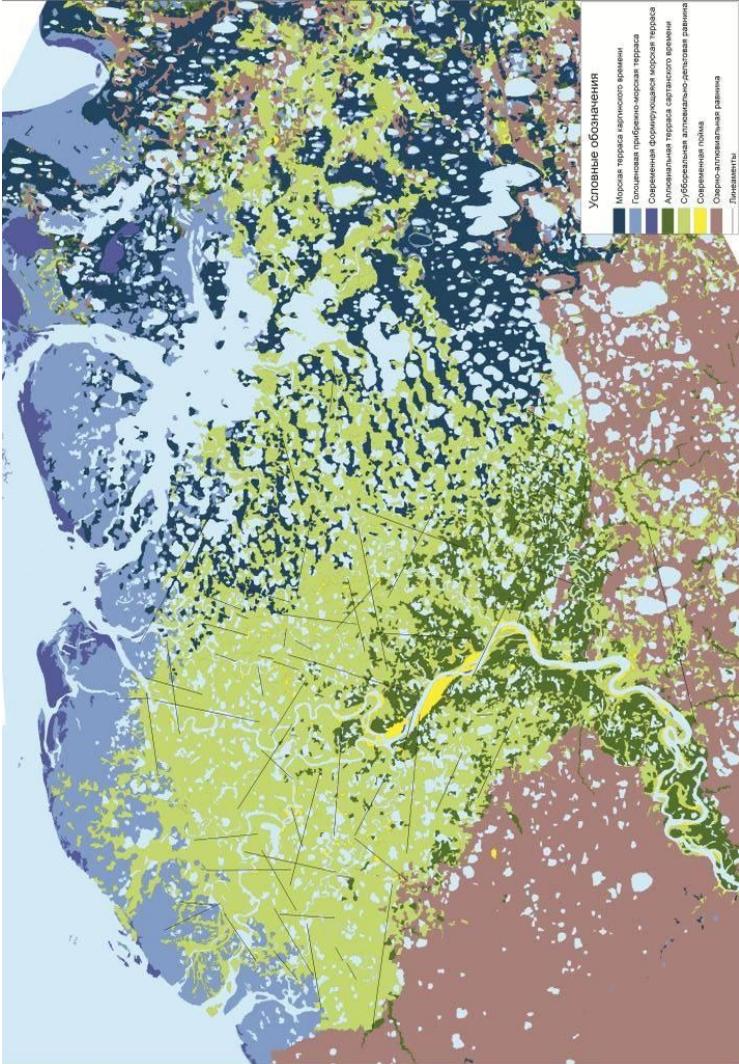




Рис. 1. Геодезическое оборудование, использованное в работе



Рис. 2. Установка базовой станции



**Рис. 3. Создание съёмочного основания**



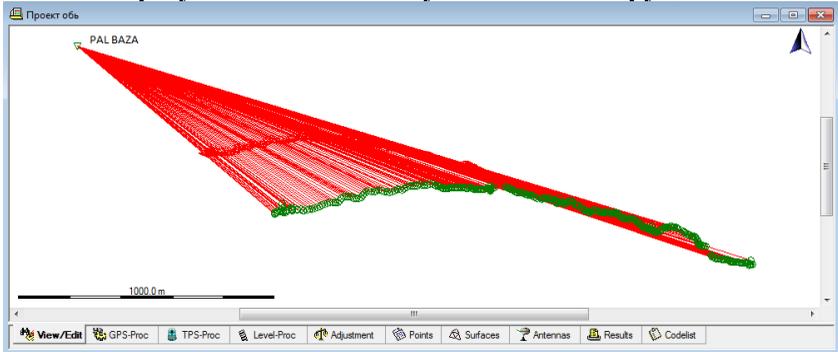
**Рис. 4. Геодезическая съемка уреза воды**



**Рис. 5. Фиксация береговой линии в 2014 году**

## Приложение 9

### Обработанные в программе Leica GeoOffice данные, полученные в результате съемки спутниковым оборудованием



## Приложение 10

### Каталог координат

	A	B	C	D	E	F	G
4	BAZA K2	Измеренные	12.09.2013 8:26	60° 49' 40.56477" C	76° 42' 54.89185" B	5.5909	0.0069
5	ROVER K1	Измеренные	12.09.2013 8:28	60° 49' 40.56500" C	76° 42' 54.89346" B	4.9144	0.0032
6	ROVER K2	Измеренные	12.09.2013 8:32	60° 49' 39.80517" C	76° 42' 55.08129" B	4.5771	0.0051
7	ROVER K3	Измеренные	12.09.2013 8:35	60° 49' 39.79120" C	76° 42' 55.09841" B	2.7618	0.0068
8	ROVER K4	Измеренные	12.09.2013 8:36	60° 49' 39.70825" C	76° 42' 55.13073" B	1.8156	0.0054
9	ROVER K5	Измеренные	12.09.2013 8:37	60° 49' 39.64866" C	76° 42' 55.16109" B	1.1415	0.0050
10	ROVER K6	Измеренные	12.09.2013 8:41	60° 49' 39.76850" C	76° 42' 54.62056" B	4.7832	0.0035
11	ROVER K7	Измеренные	12.09.2013 8:42	60° 49' 39.89322" C	76° 42' 53.98734" B	4.8435	0.0035
12	ROVER K8	Измеренные	12.09.2013 8:44	60° 49' 39.58927" C	76° 42' 51.19365" B	4.6496	0.0036
13	ROVER K9	Измеренные	12.09.2013 8:56	60° 49' 39.95794" C	76° 42' 57.39396" B	4.3803	0.0053
14	ROVER K10	Измеренные	12.09.2013 8:58	60° 49' 40.10074" C	76° 42' 58.41688" B	4.7892	0.0038
15	ROVER K11	Измеренные	12.09.2013 8:59	60° 49' 40.19446" C	76° 42' 58.94566" B	4.7169	0.0032
16	ROVER K12	Измеренные	12.09.2013 9:00	60° 49' 40.10607" C	76° 42' 59.88755" B	4.6546	0.0033
17	ROVER K13	Измеренные	12.09.2013 9:03	60° 49' 40.35637" C	76° 43' 02.01317" B	4.6447	0.0041
18	ROVER K15	Измеренные	12.09.2013 9:06	60° 49' 40.74404" C	76° 43' 04.09402" B	4.7445	0.0036
19	ROVER K16	Измеренные	12.09.2013 9:07	60° 49' 40.75038" C	76° 43' 04.44393" B	4.6145	0.0031
20	ROVER K17	Измеренные	12.09.2013 9:08	60° 49' 41.02165" C	76° 43' 05.82568" B	4.8561	0.0040
21	ROVER K20	Измеренные	12.09.2013 9:11	60° 49' 41.22703" C	76° 43' 08.64658" B	4.8279	0.0041
22	ROVER K21	Измеренные	12.09.2013 9:13	60° 49' 41.34852" C	76° 43' 09.51166" B	4.7471	0.0041
23	ROVER K22	Измеренные	12.09.2013 9:14	60° 49' 41.90978" C	76° 43' 10.19300" B	4.9767	0.0041
24	ROVER K24	Измеренные	12.09.2013 9:16	60° 49' 42.01767" C	76° 43' 12.35713" B	5.1067	0.0028
25	ROVER K26	Измеренные	12.09.2013 9:21	60° 49' 41.85493" C	76° 43' 15.05819" B	4.9958	0.0032
26	ROVER K28	Измеренные	12.09.2013 9:22	60° 49' 41.82577" C	76° 43' 15.56622" B	5.0755	0.0038
27	ROVER K29	Измеренные	12.09.2013 9:22	60° 49' 41.73462" C	76° 43' 15.93400" B	4.6435	0.0036
28	ROVER K30	Измеренные	12.09.2013 9:23	60° 49' 41.87849" C	76° 43' 16.41620" B	4.9439	0.0033

колонка А — идентификатор точки, В — класс точки, С — дата съемки точки, D и E — координаты по X и Y, F — высота, G — ошибка

## Приложение 11

### Последовательность технологических операций при цифровых методах дешифрирования рельефа северных дельт

#### А. Erdas Imagine 2013

1. Сшивка каналов.
2. Создание файла сигнатур.  
Raster — Classification — Supervised — Signature Editor  
Объединение классов (Edit — Merge) (Выделить нужные классы Shift)  
Замена естественных спектральных характеристик на новые и подбор стандартного отклонения (View — Image Alarm (создание маски) — Standard deviation).
3. Классификация.  
Classification — Supervised — Supervised classification

#### Б. АркГИС

4. Переклассификация снимков (Инструменты — Spatial Analyst — Переклассификация).
5. Сбор мозаики (в Erdas Imagine).
6. Фильтрация (мажоритарный фильтр) (Erdas: Raster — Thematic — Statistical filtering — majority 7x7) (ArcGIS: Инструменты — Spatial Analyst — Генерализация — Фильтр большинства).
7. Сглаживание границ (Инструменты — Spatial Analyst — Генерализация — Boundary Clean — метод Ascend).
8. Группировка (Инструменты — Spatial Analyst — Генерализация — Region Group).
9. Установить ноль (Инструменты — Spatial Analyst — Условие — Setnull).
10. Отсечение (Инструменты — Spatial Analyst — Генерализация — Отсечение).
11. Автоматизированная векторизация (Инструменты — Conversion Tools — Из растра — raster to polygon (при этом происходит упрощение полигонов)).

12. Чистка раstra — замена классов неверно классифицированных полигонов.
13. Слияние полигонов: Управление данными — Генерализация — Слияние (Dissolve)
14. Обрезать шейп-файл по нужному шаблону: Задать шаблон для обрезки (нарисовать полигон). Инструменты — Анализ — Извлечение — вырезать.
15. Вычислить площади полигонов: ArcToolbox->Spatial Statistics Tools->Utilities->Calculate Areas (полигоны должны быть перед этим спроецированы).

*Учебное издание*

**Лопатин Д.В., Кандрюкова Н.А., Коркин С.Е., Коркина Е.А.**

**АНАЛОГОВЫЕ И ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ  
ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ  
РЕГИОНАЛЬНОМ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ**

Учебное пособие

Редактор *Т.А. Фридман*

Изд. лиц. ЛР № 020742. Подписано в печать 19.04.2017  
Формат 60×84/16. Бумага для множительных аппаратов  
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. листов 6,25  
Тираж 300 экз. Заказ 1822

*Отпечатано в Издательстве  
Нижевартковского государственного университета  
628615, Тюменская область, г.Нижевартовск, ул.Дзержинского, 11  
Тел./факс: (3466) 43-75-73, E-mail: izd@nvsu.*