Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный гидрологический институт»

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ **СТО ГГИ 52.08.40–2017**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СУШИ И ИХ ВОДОСБОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПО ЦИФРОВЫМ КАРТАМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ

Санкт-Петербург

ООО "РПЦ Офорт"

2017

gost.e-ecolog.ru

УДК 556.51.52
ББК 26.222

Определение морфометрических характеристик водных объектов суши и их водосборов с использованием технологии географических информационных систем по цифровым картам Российской Федерации и спутниковым снимкам. – М.: ООО "РПЦ Офорт", 2017. – 148 с.

ISBN 978-5-9907194-7-7

Настоящий стандарт предназначен для использования в ФГБУ «ГГИ», а также в других организациях и учреждениях Росгидромета. Стандарт может использоваться для определения морфометрических характеристик водных объектов в инженерно-гидрологических расчетах согласно СП 33-101, для пополнения и уточнения данных государственного водного реестра Российской Федерации, для мониторинга водных объектов, определения водоохранных зон, а также других целей в области освоения и защиты водных ресурсов.

Стандарт может быть полезен для специалистов водохозяйственного комплекса, изыскательских, научно-исследовательских и проектных учреждений при разработке гидрологического обоснования проектных работ.

© Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ»), 2017

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным учреждением «Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ») Росгидромета

2 РАЗРАБОТЧИКИ Е.В. Орлова, канд. техн. наук (ответственный исполнитель); Н.Н. Бобровицкая, д-р геогр. наук (ответственный исполнитель); В.В. Бородулин, канд. геогр. наук; Н.Ю. Бурда, науч. сотрудник; М.В. Гладкова, рук. геодезической группы; В.Н. Кузнецов, ведущий инженер-геодезист; О.П. Дидик, инженер; А.В. Шабалина, инженер-геодезист

РЕЦЕНЗЕНТ Ю.Н. Корнилов, канд. техн. наук, доцент кафедры инженерной геодезии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

3 ОДОБРЕН решением методической комиссии ФГБУ «ГГИ», протокол от 22.12.2016, № 3

4 УТВЕРЖДЕН и ВВЕДЕН в действие приказом ФГБУ «ГГИ» от 30.06.2017 № 19

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Содержание

1 Область применения..... 1

2 Нормативные ссылки..... 1

3 Термины, определения и сокращения..... 3

4 Общие положения..... 5

4.1 Классификация морфометрических и морфологических характеристик..... 5

4.2 Обновление морфометрических характеристик..... 12

5 Топографическая основа 13

5.1 Картографические материалы..... 13

5.1.1 Основные требования к картографическим материалам..... 13

5.1.2 Характеристика основных картографических материалов..... 14

5.1.3 Номенклатура цифровых карт 17

5.1.4 Содержание топографических карт..... 19

5.1.5 Выбор масштаба карт..... 22

5.2 Космические снимки..... 24

5.2.1 Характеристика космических снимков..... 24

5.2.2 Космические снимки Российской Федерации..... 28

5.3 Цифровые модели местности..... 29

5.4 Подбор и приобретение карт и космических снимков 30

6 Установление местоположения и границ водных объектов..... 34

6.1 Установление местоположения и границ водных объектов по картам 34

6.2 Дешифрирование водных объектов по космическим снимкам 44

7 Основные принципы определения морфометрических характеристик водных объектов 56

7.1 Определение морфометрических характеристик водотоков 56

7.2 Определение морфометрических характеристик водосборов 62

7.3 Определение морфометрических характеристик водоемов 65

7.4 Определение морфологических характеристик водосборов 72

8 Рекомендации по определению морфометрических характеристик водных объектов суши с использованием ГИС-технологии..... 77

8.1 Подготовка топографической основы к картометрическим работам 77

8.2 Измерения средствами программы ArcGis 82

8.2.1 Работа с цифровыми картами 82

8.2.2 Работа с космическими снимками 85

8.2.3 Инструменты приложения 3D Analyst..... 96

8.2.4 Инструменты приложения Spatial Analyst..... 105

8.3 Измерения средствами программы AutoCAD (Map 3D и Civil)..... 110

Приложение А (рекомендуемое) Примеры 122

А.1 Определение морфометрических характеристик водохранилища с использованием программы ArcGis 122

А.2 Определение морфометрических характеристик реки с использованием программы AutoCAD..... 131

Библиография..... 137

Введение

Для выполнения инженерно-гидрологических расчетов и решения многих водохозяйственных задач необходимо иметь достоверные сведения о морфометрических особенностях водных объектов суши.

Классические методы картометрических работ по бумажным картам приведены в документе «Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом» [1]. На основе изложенных в Руководстве [1] методов в период с 1960 по 1980-е годы были определены морфометрические характеристики всех изученных водных объектов суши, которые опубликованы более, чем в 120 фундаментальных изданиях Росгидромета, включая «Ресурсы поверхностных вод СССР». Эти сведения служат основой государственного водного реестра Российской Федерации (ГВР), который является незаменимым инструментом для ведения мониторинга водных объектов, выполнения инженерно-гидрологических расчетов, а также для выполнения большинства проектных работ в области освоения и защиты водных ресурсов.

С течением времени поверхность большинства речных водосборов претерпевает изменения как в силу естественных причин, так и под воздействием хозяйственной деятельности. Кроме того, периодически возникает необходимость определения морфометрических характеристик неизученных водных объектов и внесения этих данных в ГВР, особенно тех, которые используются в водохозяйственных целях.

Очевидно, что данные ГВР устаревают и требуют актуализации. Необходим современный подход к определению морфометрических характеристик водных объектов. С появлением цифровых карт, космических снимков и геоинформационных технологий возникла необходимость в создании новых автоматизированных методов, позволяющих существенно повысить оперативность и точность определения морфометрических характеристик водных объектов.

Приведенные в стандарте современные картометрические методы проверены практикой работ Отдела мониторинга и экспедиционных исследований ФГБУ «ГГИ», которые выполнены за последние 15 лет по заказам крупных научных и проектных организаций.

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СУШИ И ИХ ВОДОСБОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПО ЦИФРОВЫМ КАРТАМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ

Дата введения - 2017–09–01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает порядок определения морфометрических характеристик водных объектов суши и их водосборов с использованием технологии географических информационных систем по цифровым картам Российской Федерации и спутниковым снимкам.

1.2 Настоящий стандарт предназначен для использования в ФГБУ «ГГИ» в инженерно-гидрологических расчетах, для пополнения и уточнения сведений о водных объектах, а также при проведении инженерно-гидрометеорологических изысканий, разработке гидрологического обоснования проектов в автодорожном, железнодорожном строительстве, гидроэнергетике и освоении полезных ископаемых, ведении мониторинга водных объектов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 19179–73 Гидрология суши. Термины и определения

ГОСТ 21667–76 Картография. Термины и определения

ГОСТ 28441–99 Картография цифровая. Термины и определения

ГОСТ Р 51605–2000 Карты цифровые топографические. Общие требования

ГОСТ Р 51608–2000 Карты цифровые топографические. Требование к качеству

ГОСТ Р 52155–2003 Географические информационные системы федеральные, региональные, муниципальные. Общие технические требования

ГОСТ 52293–2004 Геоинформационное картографирование. Система электронных карт. Карты электронные топографические. Общие требования

ГОСТ Р 52438–2005 Географические информационные системы. Термины и определения

ГОСТ Р 52439–2005 Модели местности цифровые. Каталог объектов местности. Требования к составу

СП 11-103-97 Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства

СП 33–101–2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик

СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96

Примечания

1 При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверять действие ссылочных нормативных документов:

- национальных стандартов – в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году.

- типовых нормативных документов - по РД 52.18.5–2012 и дополнений к нему - ежегодно издаваемым информационным указателям нормативных документов.

2 Если ссылочный нормативный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) нормативным документом. Если ссылочный нормативный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

3.1 В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **атрибутивные данные:** Свойства, качественные или количественные признаки пространственных объектов, представленные в цифровом виде (ГОСТ Р 52155).

3.1.2 **бессточная область**: Область внутриматерикового стока, лишенная связи через речные системы с океаном. Реки бессточных областей впадают в моря и океаны, не связанные с Мировым океаном, или теряются в песках засушливых зон [2].

3.1.3 **векторная форма представления:** Способ представления цифровой пространственной информации в виде последовательности векторов. (ГОСТ 28441)

3.1.4 **водораздел:** Граница между смежными бассейнами (водосборами). Различают поверхностный и подземный водоразделы (ГОСТ 19179).

3.1.5 **водосбор (водосборный бассейн):** Часть земной поверхности в толще почв и горных пород, откуда вода поступает к водному объекту. Выделяют поверхностный и подземный водосборы (ГОСТ 19179).

3.1.6 **геоинформационные технологии (ГИС-технологии)**: Совокупность приемов, способов и методов применения средств вычислительной техники, позволяющая реализовать функциональные возможности ГИС (ГОСТ Р 52155).

3.1.7 **картометрия:** Раздел картографии, изучающий методы и способы измерения и определения по картам координат, расстояний, длин, высот, площадей, объемов, направлений (ГОСТ 28441).

3.1.8 **линейный объект (цифровой карты)**: Объект цифровой карты, метрическое описание которого представлено последовательностью координат его точек (ГОСТ 28441).

3.1.9 **метаданные:** Данные, которые позволяют описывать содержание, объем, положение в пространстве, качество и другие характеристики пространственных данных (ГОСТ Р 52155).

3.1.10 **растровая форма представления:** Способ представления цифровой пространственной информации в виде матрицы, элементами которой являются коды той или иной картографической информации (ГОСТ 28441).

3.1.11 **сеточная модель (рельефа):** Описание рельефа в виде набора высотных отметок в узлах прямоугольной регулярной сети в виде матрицы высот или глубин (ГОСТ Р 52438).

3.1.12 **слой (цифровой картографической информации):** Совокупность объектов цифровой или электронной карты, объединенная каким-либо признаком или группой признаков (ГОСТ 28441).

3.3.13 **триангуляционная модель (рельефа):** Описание рельефа в виде набора высотных отметок или отметок глубин в узлах треугольников - элементов триангуляции Делоне и ее обобщений. (ГОСТ Р 52438).

3.1.14 **цифровая карта (ЦК)**: Цифровая картографическая модель, содержание которой соответствует содержанию карты определенного вида и масштаба (ГОСТ 28441).

3.1.15 **цифровая модель местности (ЦММ)**: Цифровая картографическая модель, содержащая данные об объектах местности и их характеристиках (ГОСТ 28441).

3.1.16 **цифровая модель рельефа (ЦМР)**: Цифровая модель местности, содержащая информацию о рельефе (ГОСТ 28441).

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

3.2.1 **ArcGIS**: Программное обеспечение компании ESRI.

3.2.2 **AutoCAD**: Программное обеспечение компании Autodesk.

3.2.3 **DWG**: Векторный формат программы AutoCAD.

3.2.4 **GPS**: Глобальная навигационная спутниковая система (США).

3.2.5 **TIN**: Триангуляционная нерегулярная сеть.

3.2.6 **WGS 84**: Мировая геодезическая система 1984 г.

3.2.7 **ГИС**: Географическая информационная система.

3.2.8 **ГЛОНАСС**: Глобальная навигационная спутниковая система (Российская Федерация).

3.2.9 **ДЗЗ**: Дистанционное зондирование Земли.

3.2.10 **ИСЗ**: Искусственный спутник земли.

3.2.11 **КА**: Космический аппарат.

3.2.12 **МСК**: Местная система координат.

3.2.13 **СК-42**: Система координат 1942 г.

4 Общие положения

Гидрологические исследования и расчёты производятся с учётом основных гидрографических особенностей водных объектов и их водосборных бассейнов. Эти особенности отражают многочисленные морфометрические и морфологические характеристики, определение которых входит в задачи гидрологической картометрии.

Морфометрические характеристики влияют на формирование стока воды, наносов, развитие водно-эрозионных и русловых процессов.

Состав необходимых морфометрических и морфологических характеристик для гидрологических исследований и расчётов, который принят в Российской Федерации, определен в СП 33-101, СП 11-103 и СП 47.13330, и в основном совпадает с рекомендациями Всемирной Метеорологической Организации [3].

4.1 Классификация морфометрических и морфологических характеристик

4.1.1 Морфометрические характеристики представляют собой количественные показатели водных объектов и их водосборов, а морфологические - качественно-количественные показатели строения поверхности водосборов. Вместе они образуют гидрографические характеристики, дающие достаточно полное представление о характере, форме, размерах, протяженности водных объектов и некоторых физико-географических особенностях их водосборов.

4.1.2 Морфометрические характеристики подразделяются на три группы [1]:

- морфометрические характеристики водотоков представляют собой количественные показатели, дающие представление о размерах, форме, уклонах различных водотоков;
- морфометрические характеристики водоёмов представляют собой количественные показатели, характеризующие вид, форму, высотное положение, размеры ложа водоёмов и объёмы воды в них;
- морфометрические характеристики водосборов представляют собой количественные показатели, дающие представление о форме, размерах и пространственном положении водосбора.

4.1.3 Морфометрические характеристики, которые используются в расчётных формулах (СП 33-101):

- площадь водосбора F, км^2, представляет собой площадь части земной поверхности и толщи почвогрунтов, ограниченная водораздельной линией, с которой вода поступает в данный водный объект;
- гидрографическая длина водотока L, км, представляет собой наибольшую протяженность основного русла водотока (системы водотоков), измеряемая от истока притока, составляющего с основным водотоком наибольшую длину;
- средневзвешенный уклон водотока $\bar{J}$, ‰, представляющий собой условный выровненный уклон ломаного профиля, эквивалентный сумме частных средних уклонов профиля водотока, вычисляемый по формуле

$$\lg \bar{J} = \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{l_i}{L} \lg J_i \right] \quad \text{или} \quad \bar{J} = \prod_{i=1}^{n} J_i^{\,l_i / L}, \quad (4.1)$$

где J_i – частный средний уклон отдельных участков продольного профиля водотока, ‰; l_i – длина частных участков продольного профиля между точками перегиба, км; L – гидрографическая длина водотока до пункта наблюдений, км.

Средневзвешенный уклон определяют только для незарегулированных водотоков, а также для участков рек, расположенных в нижних бьефах водохранилищ;

- в ряде случаев определяют средний уклон русла реки J, ‰, представляющий собой отношение превышения истока над устьем, определяемого по разности высотных отметок, к соответствующей длине водотока

$$J = \frac{\Delta H}{L}, \quad (4.2)$$

где ΔH - падение реки в метрах, которое равно разности высот истока $H_{ист}$ и устья $H_{уст}$

$$\Delta H = H_{ист} - H_{уст} \quad (4.3)$$

- средняя высота водосбора $H_в$, м над уровнем моря - определяется по формуле

$$\overline{H}_в = \frac{\sum_{i=1}^{n} (H_{в,i} + H_{в,i+1})(\Delta F_i)}{2F}, \quad (4.4)$$

где $H_{в,i}$ - высота поверхности горизонтального сечения, м; ΔF_i - площадь между двумя соседними горизонталями, км^2; F - общая площадь водосбора, км^2.

4.1.4 Помимо перечисленных выше, в гидрологических расчетах используют также следующие морфометрические характеристики:

- длина участков канализированных рек $L_к$. Определяется как сумма длин всех каналов и канав

$$L_к = \sum L_{кан} \quad (4.5)$$

- площадь бессточных областей $F_{бес}$, выделяемая по характерным признакам в пределах водосборов рек и водоемов;
- центр тяжести речного водосбора – точка на карте с координатами x, y, являющаяся геометрическим центром водосбора. К этим координатам обычно относят слои, модули стока и др. гидрологические характеристики для создания карт распределения стока по территории;
- продольный профиль водотока - линия, абсолютные высоты точек перегиба которой и длины участков от истока или устья до точек перегиба, характеризуют форму и уклоны водотока;
- поперечный профиль водотока – линия, перпендикулярная водотоку, абсолютные высоты точек перегиба которой и расстояния до них от постоянного начала, характеризуют его форму и уклоны;
- извилистость водотока - отношение длины водотока к прямой, соединяющей ее исток и устье (или конечные точки участка), характеризующее степень криволинейности русла;
- площадь водоёма - площадь водной поверхности водоёма, ограниченная его береговой линией;
- уровень воды - высота поверхности воды в водном объекте над условной горизонтальной плоскостью сравнения;
- объём озёра - количество воды в озере при определенном уровне;
- средняя глубина водоёма - среднее вертикальное расстояние от поверхности воды до дна, определяемое отношением объёма воды в водоёме к его площади;
- максимальная глубина водоёма - наибольшее вертикальное расстояние от уровенной поверхности водоёма до дна;

- длина водоёма - протяженность водоёма вдоль его осевой линии;
- максимальная ширина водоёма - наибольшее расстояние между противоположными берегами водоёма, измеряемое перпендикулярно осевой линии водоёма;
- нормальный подпорный уровень водохранилища (НПУ) - наивысший уровень водной поверхности верхнего бьефа в нормальных условиях эксплуатации водохранилища;
- объём водохранилища полный - количество воды в водохранилище при нормальном подпорном уровне;
- объём водохранилища мёртвый – объём воды, не используемый в нормальных условиях эксплуатации и не применяемый для регулирования стока;
- уровень мёртвого объёма (УМО) – уровень, отвечающий мёртвому объёму. При транспортном использовании водохранилища соответствует низшему навигационному уровню, при котором возможно судовождение;
- форсированный подпорный уровень (ФПУ) – уровень, лежащий выше НПУ, применяемый в чрезвычайных условиях эксплуатации. Возможно применение для аварийной площади затопления;
- форсированный объём – объём воды между форсированным и нормальным подпорными уровнями;
- батиграфическая кривая – кривая зависимости площади водоема от глубины или высотных отметок, соответствующих различным уровням наполнения водоема;
- объёмная кривая – кривая зависимости объема водоема от глубины или высотных отметок, соответствующих различным уровням наполнения водоема.

4.1.5 Для малых рек, с площадью водосбора менее 200 км^2, и временных водотоков дополнительно определяют следующие морфометрические характеристики:

- средний уклон склонов водосбора $J_{скл}$, ‰, вычисляют по картам или планам в горизонталях по направлению наибольшего уклона

склонов как среднее арифметическое из нескольких (5-10) определений или по формуле

$$J_{\text{скл}} = \frac{\Delta \sum l'}{F}, \quad (4.6)$$

где Δ – вертикальное расстояние (шаг) между смежными горизонталями, м; Σℓ' – сумма длин всех горизонталей в пределах бассейна, км.

- густота речной сети водосбора ρ, км/км^2; которую определяют, как отношение суммарной длины всех водотоков (реки, каналы, канавы) на водосборе к общей площади водосбора

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{n} l}{F} \quad (4.7)$$

- густота русловой сети ρ_0, км/км^2; которую определяют, как отношение суммарной длины речных долин, сухих русел, оврагов, балок и логов к общей площади водосбора

$$\rho_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} l_0}{F} \quad (4.8)$$

- тип ручейковой сети на склонах определяется по материалам аэрокосмических съёмок масштаба 1: 10 000 и крупнее или по данным полевых обследований.

4.1.6 Морфологические характеристики:

- относительная лесистость водосбора $f_л$, определяется в процентах от общей площади водосбора (лес и кустарники на проходимых болотах в лесные угодья не включают);

- относительная заболоченность водосбора $f_б$, вычисляется в процентах от общей площади водосбора с разделением болот на верховые и низовые;

- относительная озерность водосбора $f_{оз}$, определяется в процентах, как отношение суммы площадей всех озёр, расположенных на водосборе, к общей площади водосбора;

- средневзвешенная озёрность для непроточных озёр $f'_{оз}$, определяется в процентах от общей площади водосбора с учётом расположения озёр на водосборе по формуле

$$f'_{оз} = \frac{\sum_{i=1}^{n} S_i f_i}{F^2} 100\%, \quad (4.9)$$

где S_i – площади озёр; f_i – площади водосборов этих озёр; F- площадь водосбора реки до замыкающего створа;

- закарстованность водосбора $f_к$, в процентах от общей площади водосбора; определяется по отношению закарстованной площади водосбора ко всей его площади;
- относительная распаханность водосбора $f_р$ в процентах от общей площади водосбора определяется как отношение площади распаханных земель под сельскохозяйственные культуры на водосборе ко всей его площади;
- состав почвогрунтов, слагающих поверхность водосбора; определяется по почвенным картам с учётом пяти основных групп почвогрунтов по механическому составу: глинистые, суглинистые, песчаные, супесчаные и каменистые;
- средняя глубина залегания уровня грунтовых вод (первого водоносного горизонта); определяется по гидрогеологическим картам;
- характеристика зарегулированности речной системы искусственными водоёмами (количество, расположение и регулирующие ёмкости) вычисляется в процентах по соотношению площади зарегулированной к общей площади водосбора;
- характеристика рельефа принимается по определению: равнинный – относительное колебание высот в пределах водосбора менее 200 м; горный – относительное колебание высот на водосборе более 200 м.

Помимо перечисленных выше, в ряде случаев определяют также урбанизированность и оледененность водосборов.

В таблице 4.1 обобщенно представлен перечень необходимых морфометрических и морфологических характеристик для гидрологических исследований и расчётов, который определен в СП 33-101, СП 11-103 и СП 47.13330

Таблица 4.1 – Перечень современных морфометрических и морфологических характеристик, рекомендуемых к использованию в практике гидрологических расчётов

Морфометрические характеристики			Морфологические характеристики водосборов
водотоков	водоемов	водосборов	
гидрографическая длина	площадь водоема	площадь водосбора	относительная лесистость
средневзвешенный уклон или средний уклон	уровень воды	средняя высота	относительная заболоченность
извилистость	средняя глубина	координаты центра	относительная озерность
продольный профиль	длина	средняя ширина водосбора	средневзвешенная озерность
поперечные профили	максимальная ширина	площадь бессточных областей	закарстованность
длина участков канализованных рек	максимальная глубина		относительная распаханность
	нормальный подпорный уровень (НПУ) водохранилища	Для водосборов малых рек (менее 200 км^2) и временных водотоков:	состав почвогрунтов
	уровень мертвого объема (УМО) водохранилища	средний уклон склонов	средняя глубина залегания уровня грунтовых вод
	форсированный подпорный уровень водохранилища (ФПУ)	густота речной сети или густота русловой сети	зарегулированность речной системы искусственными водоемами
	объем озера или объем водохранилища (НПУ, УМО, ФПУ)	тип ручейковой сети	характеристика рельефа
	объёмная кривая		урбанизированность
	батиграфическая кривая		оледененность

4.2 Обновление морфометрических характеристик

4.2.1 С течением времени поверхность речных водосборов претерпевает изменения под воздействием естественных причин и хозяйственной деятельности человека. В связи с этим изменяются и значения морфометрических характеристик водных объектов и водосборов, полученные по топографическим и другим тематическим картам [1].

4.2.2 Морфометрические характеристики подразделяются на относительно стабильные и динамичные. К стабильным относятся: площадь водосбора, средняя высота водосбора, средний уклон склонов водосбора, площадь бессточных областей. Все остальные морфометрические характеристики следует отнести к динамичным.

4.3.3 Обновления морфометрических характеристик водных объектов и их водосборов следует производить тогда, когда произошли изменения на самих водных объектах или их водосборах и это начинает влиять на точность гидрологических расчётов. Проверку и обновление необходимо производить одновременно всех морфометрических характеристик водного объекта. Морфометрические характеристики могут быть уточнены не только по картам, но и по аэрокосмическим снимкам или по результатам полевых гидрографических обследований.

4.2.4 Прежде чем приступить к работам по определению, обновлению или исправлению морфометрических характеристик необходимо установить степень несоответствия изображения местности на имеющихся топографических картах и космических снимках последних лет.

Для анализа топографических карт сопоставляются старые и новые материалы, наложенные друг на друга. Это позволяет выявить характер и объём изменений по несовпадению контуров различных объектов на экране компьютера. На основе проведенного анализа цифровых топографических карт и космических снимков принимается окончательное решение о полном или частичном обновлении морфометрических характеристик.

5 Топографическая основа

5.1 Картографические материалы

5.1.1 Основные требования к картографическим материалам

5.1.1.1 В качестве основных картографических материалов для определения морфометрических характеристик водных объектов и их водосборов рекомендуется использовать топографические карты Российской Федерации крупного масштаба (1:10 000-1:100 000), а также топографические планы местности.

Топографические карты являются общегосударственными картами. Они составляются в строгом соответствии с положениями, инструкциями и условными знаками, разработанными Роскартографией. Современные крупномасштабные топографические карты характеризуются отсутствием существенных искажений за счет проекции, высокой точностью изображения всех элементов содержания, сплошным покрытием территории и поэтому могут быть использованы в качестве основы для проведения картометрических работ в гидрологических целях.

5.1.1.2 Точность получаемой с карты гидрографической информации зависит в первую очередь от масштаба, в котором составлена карта. Чем крупнее масштаб используемой карты, тем выше точность определяемых по ней морфометрических характеристик [1].

5.1.1.3 Средние погрешности положения на топографической карте объектов и контуров местности относительно ближайших точек плановой съемочной сети по существующим нормативам не превышают 0,5 мм, а в горных, высокогорных и пустынных районах – 0,75 мм в масштабе карты, что соответственно составит: в масштабе 1:10 000 – 5 и 7,5 м; в масштабе 1:25 000 – 12 и 19 м; в масштабе 1:50 000 – 25 и 38 м; в масштабе 1:100 000 – 50 и 75 м [1]. Средние погрешности для планов составят в масштабе 1:5 000 – 2,5 и 3,75 м, в масштабе 1:2 000 – 1,0 и 1,25 м, в масштабе 1:1 000 – 0,5 и 0,75 м и в масштабе 1:500 – 0,25 и 0,38 м .

Средние погрешности положения горизонталей по высоте в равнинной и холмистой местности не превышают 0,4h, а в горных районах – h (h – высота сечения рельефа на данной карте) [1].

5.1.1.4 При работе с картой необходимо постоянно руководствоваться условными знаками, образцами шрифтов и

сокращений, действующими в период, соответствующий периоду составления и издания используемых карт [4].

5.1.1.5 Используемые карты должны отображать современное состояние всех элементов местности и прежде всего водных объектов, их водосборов. Сведения о годе съемки местности указывается на каждом листе топографической карты. Использование устаревших картографических материалов при наличии новых, существенно отличающихся по содержанию и точности картографических материалов, для определения морфометрических характеристик недопустимо.

Для обеспечения необходимой точности гидрологических расчетов требуется, чтобы гидрологические наблюдения и морфометрические характеристики водных объектов соответствовали одному и тому же периоду. Старые карты используются для установления динамики водных объектов [1].

5.1.1.6 К цифровой топографической карте (ЦК) требования определены в ГОСТ Р 52293-2004, ГОСТ Р 51605-2000 и ГОСТ Р 51608-2000.

Содержание ЦК должно соответствовать содержанию топографической карты соответствующего масштаба.

В паспортные данные ЦК должны быть включены: номенклатура, знаменатель масштаба, проекция, вид эллипсоида, геодезические и прямоугольных координаты углов рамки листа, система координат и система высот.

ЦК масштабов 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000 должны обеспечивать с соответствующей масштабу точностью возможность определения прямоугольных и геодезических координат, абсолютных высот точек местности и превышений одних точек над другими, качественных и количественных характеристик объектов, а также возможность производства других картометрических работ.

5.1.2 Характеристика основных картографических материалов

5.1.2.1 Системы координат и система высот

Объекты на карте связаны с реальными объектами на местности с помощью пространственных координат. В географической системе координат используются трехмерные угловые географические

координаты, которые определяют положение объектов на упрощенной модели Земли – эллипсоиде вращения. Размеры и форма эллипсоида характеризуются длинами двух полуосей a и b или длиной большой полуоси a и коэффициентом сжатия f.

В России с 1946 г. введена единая система геодезических координат Пулково-1942 (СК-42), а с 2000 г. - система координат 1995г. (СК-95). Эти системы координат применяются до 1 января 2021 г. В качестве модели Земли в обоих системах принят эллипсоид Красовского. При осуществлении геодезических и картографических работ с 2012 г. используется геодезическая система координат 2011 года (ГСК-2011).

Российская спутниковая система ГЛОНАСС использует систему координат "Параметры Земли 1990 года" (ПЗ-90.11).

В качестве международной системы координат для геодезических, картографических работ и глобальной системы позиционирования (GPS) принят общеземной эллипсоид WGS-84.

Широта и долгота точки на поверхности Земли при использовании разных эллипсоидов (например, эллипсоидов Красовского и WGS-84) будут отличаться.

Для конкретной территории также используют локальные эллипсоиды.

В качестве государственной системы высот в России используется Балтийская система высот 1977 года.

5.1.2.2 Картографические проекции

Для определения пространственных характеристик объекта (длины, площади и др.) трехмерные географические координаты переводят в прямоугольные спроецированные (метры). Метод преобразования географических координат в плоские и называется проекцией.

При этом поверхность Земли нельзя отобразить на плоскости с сохранением всех пространственных отношений одновременно: углов, расстояний и площадей. Поэтому или площадь, или форма, или расстояние на карте будут искажены.

Проекции различают [5]:

- по характеру искажений: равновеликие, равноугольные, равнопромежуточные, произвольные проекции.

- по виду поверхности, на которую проецируется земной эллипсоид: азимутальные, цилиндрические, конические.
- по ориентировке вспомогательной поверхности относительно полярной оси и экватора эллипсоида: нормальные, поперечные, косые.

На выбор проекций для картометрических работ влияет множество факторов, включая, размер водного объекта, его широтное положение, конфигурация и др.

5.1.2.2.1 Для минимизации искажений крупных водных объектов и их водосборов (протяженностью более 6 градусов) в средних широтах рекомендуется использовать цилиндрические проекции, а севернее 60-й параллели – азимутальные или конические. При этом, для измерения длин рекомендуются равнопромежуточные проекции, а для измерения площадей – равновеликие.

5.1.2.2.2 В общем случае, для небольших и средних по размерам водных объектов и их водосборов, проекция должна быть подобрана так, чтобы искажения длин и площадей не превышали 2%.

Указанным требованиям в значительной мере удовлетворяют топографические карты Российской Федерации. Наибольшее искажение длин в пределах листа карты достигает 0,14%, искажения площадей — до 0,08%. Таким образом, при выполнении картометрических работ на топографических картах средних и крупных масштабов в пределах одной шестиградусной зоны искажениями длин и площадей можно пренебречь.

Отечественные топографические карты в масштабах 1:25 000—1:500 000 создаются в поперечно-цилиндрической проекции Гаусса-Крюгера. Аналогом проекции Гаусса-Крюгера является международная проекция UTM (Universal Transverse Mercator).

5.1.2.3 Местная система координат

Согласно [6] местной системой координат называется система плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса-Крюгера с местной координатной сеткой. Местные системы создаются в государственной геодезической системе координат с элементами эллипсоида Красовского.

Начало отсчета координат и ориентировка осей координат местной системы смещены по отношению к началу отсчета и ориентировке осей координат единой государственной системы

координат. С помощью параметров перехода можно перейти от местной системы к единой государственной системе координат.

Местные системы координат базируются на основе государственной системы координат 1963 года (СК-63), которая была разработана на всю территорию бывшего СССР в виде блоков.

На картах и планах, составляемых в местных системах, применяется Балтийская система высот 1977 года. В некоторых местных системах установлено свое (местное) начало отсчета высот.

Для названий местных систем субъектов РФ установлены номера. Например, местная система Московской области называется «МСК-50». Блоки системы координат 1963 г. обозначаются латинскими буквами, например, «Система координат 1963г. Блок V».

Разграфка и номенклатура карт в местной системе аналогична разграфке и номенклатуре карт в единой государственной системе.

5.1.3 Номенклатура цифровых карт

5.1.3.1 Зоны для топографических карт в проекции Гаусса-Крюгера нумеруются с запада на восток, начиная с Гринвичского меридиана. В каждой из шестиградусных зон своя система прямоугольных координат. Для того, чтобы все прямоугольные координаты были положительны, вводится восточное смещение (false easting), равное 500 000 м. Для того, чтобы только по численному значению координаты Y можно было определить, к какой зоне относятся эти значения, к ним слева приписывается номер зоны.

В основе разграфки и номенклатуры лежит лист карты масштаба 1:1 000 000, который имеет размеры 4 градуса по широте и 6 градусов по долготе (рисунок 5.1).

Листы карт имеют форму трапеции. Южнее 60-й параллели карты издаются отдельными листами. Севернее 60-й параллели листы карт издаются сдвоенными, а севернее 76-й параллели - счетверёнными по долготе [1].

Пояса обозначаются заглавными буквами латинского алфавита, начиная от экватора. Счет колонн ведется на восток от нулевого меридиана, колонны обозначаются арабскими цифрами от 1 до 60.

5.1.3.2 Набор листов карты, отвечающий по долготе одной зоне, имеет одну цифру в номенклатуре, но отличается буквой, обозначающей пояс по широте. В одном листе карты масштаба 1:1 000 000 содержатся 4 листа масштаба 1:500 000, 36 листов

масштаба 1:200 000 и 144 листа масштаба 1:100 000. Листы карты масштаба 1:500 000 обозначаются прописными буквами русского алфавита, например, N-37-Г. Листы карты масштаба 1:200 000 обозначаются римскими цифрами, например, N-37-XXX. Листы карты масштаба 1:100 000 обозначаются арабскими цифрами от 1 до 144, которые ставятся после номенклатуры листа карты масштаба 1:1 000 000, например, N-37-120 (рисунок 5.1).

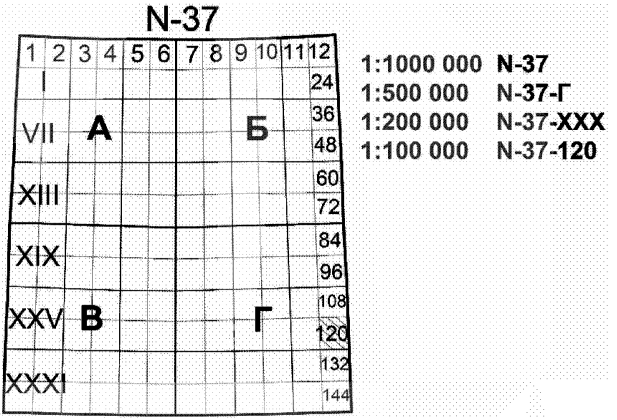

Рисунок 5.1 – Разграфка и номенклатура карт масштабов от 1:1 000 000 до 1:100 000

5.1.3.3 Лист карты масштаба 1:100 000 положен в основу разграфки и номенклатуры карт более крупного масштаба (рисунок 5.2). В одном листе карты масштаба 1:100 000 содержатся 4 листа масштаба 1:50 000, которые обозначаются прописными буквами русского алфавита, например, N-37-120-В. Лист карты масштаба 1:50 000 содержит 4 листа карты масштаба 1:25 000, которые обозначаются строчными буквами русского алфавита, например, N-37-120-В-б. Лист карты масштаба 1:25 000 содержит 4 листа карты масштаба 1:10 000, которые обозначаются арабскими цифрами, например, N-37-120-В-б-4. Кроме того, лист карты масштаба 1:100 000 содержит 256 листов карты масштаба 1:5 000, которые обозначаются порядковыми арабскими цифрами от 1 до 256, взятыми в скобки, например, N-37-120-(8). Лист карты масштаба 1:5 000 содержит 9 листов масштаба 1:2 000, которые обозначаются русскими строчными буквами от а до и, например, N-37-120-(8-е).

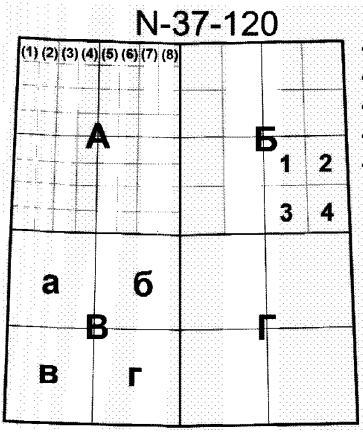

Рисунок 5.2 – Разграфка и номенклатура карт масштабов от 1:100 000 до 1:5 000

5.1.4 Содержание топографических карт

5.1.4.1 Из элементов содержания топографических карт для гидрологических работ наибольшее значение имеют: объекты гидрографии (озёра, водохранилища, пруды, реки, каналы, канавы, болота и другие), рельеф и почвенно-растительный покров, районы развития карста, а также населенные пункты, хозяйственные объекты и дороги [1].

5.1.4.2 Озёра, водохранилища и пруды на крупномасштабных картах показываются в том случае, если их площадь в масштабе карты более 1 мм², а на мелкомасштабных картах - более 2 мм². Если озёра имеют меньшую площадь, но являются характерными для данного района, они показываются на картах с некоторым увеличением площади. Независимо от размера показываются все пресные озёра в засушливых и безводных районах, минеральные, лечебные, а также озёра, являющиеся истоками рек.

5.1.4.3 Реки, каналы и канавы на крупномасштабных картах показываются все, независимо от их протяженности, за исключением горных районов, где на картах масштаба 1:50 000 и 1:100 000 реки и ручьи длиной менее 1 см (в масштабе карты) показываются не полностью, а с частичным отбором. Все реки изображаются в одну или две линии в зависимости от их ширины и масштаба карты (таблица 5.1) [1].

Таблица 5.1 – Изображение рек на картах разных масштабов в зависимости от их ширины

Изображение реки на карте	Ширина реки на картах масштабов			
	1:10 000	1:25 000	1:50 000	1:100 000
В одну линию	до 3 м	до 5 м	до 5 м	до 10 м
В две линии с промежутком между ними 0,3 мм	3-5 м	5-15 м	5-30 м	10-60 м
В две линии с сохранением действительной ширины реки в масштабе карты	от 5 м	от 15 м	от 30 м	от 60 м

5.1.4.4 Реки, изображаемые в одну линию, показаны на картах с постепенным утолщением линии от истока к устью; реки, протекающие в пустынных районах и теряющиеся в песках, показываются с постепенным уменьшением толщины к устьевой части.

Толщина линии, изображающей реку, находится в пределах 0,1-0,5 мм. При изображении рек в две линии наименьший промежуток между ними 0,3 мм.

5.1.4.5 Канализованные участки рек показываются на картах в одну или две линии условными знаками каналов и канав в соответствии с рекомендациями таблицы 5.2.

5.1.4.6 При изображении поймы реки, как правило, наносятся все протоки и старые русла (старицы) длиной в масштабе карты более 3 мм, а при большом их числе и сильной заболоченности поймы – длиной более 5 мм.

5.1.4.7 Каналы и канавы изображаются в одну или две линии в зависимости от их ширины и масштаба карты (таблица 5.2) [1].

Таблица 5.2 – Изображение каналов (канав) на картах разных масштабов

Изображение канала (канавы) на карте	Ширина канала (канавы) на картах масштабов			
	1:10 000	1:25 000	1:50 000	1:100 000
В одну линию	до 2 м	до 3 м	до 3 м	до 3 м
В две линии с промежутком между ними 0,2 мм	2-3 м	3-10 м	3-10 м	3-10 м
В две линии с промежутком между ними 0,4 мм	3-5 м	10-15 м	10-30 м	10-60 м
В две линии с сохранением действительной ширины канала в масштабе карты	от 5 м	от 15 м	от 30 м	от 60 м

5.1.4.8 На картах масштабов 1:10 000-1:25 000 обычно показываются все каналы и канавы оросительных и осушительных

систем. В отдельных случаях не показываются канавы, когда расстояние между ними в масштабе карты менее 2 мм.

5.1.4.9 На картах масштабов 1:50 000 и 1:100 000 показываются каналы и магистральные канавы, а прочие канавы наносятся с разрядкой (отбором).

5.1.4.10 Береговая линия морей, озер и искусственных водоемов изображается с подразделением на: постоянную и определённую, непостоянную и неопределенную (озёра на болотах, низменные, затопляемые берега, берега пересыхающих озёр и т.п.); на картах масштаба 1:50 000 и мельче не разделяются.

5.1.4.11 Изображаемая на картах береговая линия моря соответствует линии уреза воды при наиболее высоком ее уровне во время прилива, а при отсутствии приливных явлений – линии прибоя. Береговая линия и отметки уровня озёр, прудов и рек соответствуют среднему меженному уровню, а береговая линия крупных водохранилищ – нормальному подпорному уровню (НПУ). На картах показываются границы разливов крупных озёр и рек.

5.1.4.12 Рельеф местности на топографических картах изображается горизонталями в сочетании с условными знаками обрывов, скал, оврагов, промоин. Изображение рельефа дополняется подписями абсолютных и относительных высот некоторых характерных точек местности. Для изображения рельефа горизонталями на топографических картах, как правило, применяются основные высоты сечения рельефа, указанные в таблице 5.3 [1].

Таблица 5.3 – Основные высоты сечения рельефа для карт масштабов 1:10 000 - 1:100 000

Рельеф района	Высота сечений рельефа для карт масштабов			
	1:10 000	1:25 000	1:50 000	1:100 000
Плоскоравнинный	2,5 м	2,5 м	10 м	20 м
Равнинный, всхолмленный и пересеченный с наклоном до 6°	2,5 м	5 м	10 м	20 м
Горный и предгорный, а также песчаные пустыни	5 м	5 м	10 м	20 м
Высокогорный	-	10 м	20 м	40 м

5.1.4.13 В местах со слабо выраженным рельефом, где основные горизонтали не отображают его характера, вводят дополнительные и вспомогательные горизонтали. Дополнительные горизонтали

изображаются на картах в виде линейного пунктира и проводятся обычно между основными горизонталями.

5.1.4.14 На листах карты масштаба 1:25 000 дополнительные горизонтали наносятся через 2,5 м (половина сечения), вспомогательные – через 1,25 м (четверть сечения); на карте масштаба 1:50 000 – соответственно через 5 и 2,5 м и т. д. Вспомогательные горизонтали также изображаются линейным пунктиром, но чёрточки этого пунктира делаются примерно в два раза короче чёрточек, изображающих дополнительные горизонтали [5].

5.1.5 Выбор масштаба карт

5.1.5.1 Масштаб исходных карт влияет на точность цифровой информации. Чем крупнее масштаб топографических данных, тем точнее и подробнее представлена в ней информация.

5.1.5.2 В соответствии с правилами картосоставления с уменьшением масштаба обобщаются мелкие извилины рек и изображение реки на карте становится короче. Это иллюстрируется таблицей 5.4, полученной в ГГИ [7].

Таблица 5.4 – Длина реки на картах разных масштабов

	Длина реки, км на картах масштабов				
Река	1:25 000	1:50 000	1:100 000	1:300 000	1:1 000 000
А	43,3	36,5	36,2	29,1	26,5
В	32.4	30,8	29.1	27,6	22,5
Г	-	70,8	62,6	55,8	51,0
Д	-	97,6	93,2	87,8	81,0
Е	-	-	211	201	187
Ж	-	-	252	248	224

С уменьшением масштаба в разы уменьшается число изображенных на карте водоемов и водотоков.

5.1.5.3 Чем крупнее масштаб карты, тем точнее по таким картам можно произвести все виды картометрических работ поскольку сечение рельефа чаще, подробнее изображена гидрографическая сеть и детальнее показаны все прочие элементы местности. Следует учитывать, что при увеличении масштаба карт резко увеличивается объём картометрических работ.

5.1.5.4 Топографические карты среднего масштаба (1:200 000) и мелкого масштаба (1:500 000 –1:1 000 000) разрешается использовать только для определения отдельных морфометрических характеристик

(площади, средней высоты и другие) с целью использования их для предварительных расчётов, когда не требуется высокая точность. Для этих целей Росгидрометом рекомендовано использовать «Общую цифровую картографическую основу Росгидромета» (ЦКО Росгидромета) [8].

5.1.5.5 В соответствии с размером водных объектов и характером местности рекомендуются для использования следующие масштабы картографических материалов (таблицы 5.5 - 5.6) [1].

Таблица 5.5 – Масштабы карт, используемые для определения площадей водосборов, длин рек и уклонов

Характер местности	Площадь водосбора, км²			
	менее 10	10-50	50-200	более 200
Равнинные, пустынные и заболоченные слабо расчленённые районы	1:10 000	1:25 000	1:50 000	1:100 000
Горные и холмистые сильно расчленённые районы	1:25 000	1:50 000	1:100 000	1:100 000

Таблица 5.6 – Масштабы карт, используемые для определения морфометрических характеристик водоёмов

Водоёмы	Примерная площадь изображения водоема на карте		Масштабы карт
	бумажной, см²	цифровой, км²	
Крупнейшие и большие	более 1000	более 1000	1:500 000 1:100 000
Средние	500-1000	500 - 1000	1:100 000
		125 - 250	1:50 000
Малые	100-500	25-125	1:50 000
		6-31	1:25 000
Самые малые	10-100	1-6	1:25 000
		0-1	1:10 000

5.1.5.6 В процессе работы карты более крупного масштаба, по сравнению с рекомендуемыми в таблицах 5.5 и 5.6, должны использоваться как вспомогательные для установления и уточнения положения отдельных объектов или границ водосборов.

5.1.5.7 При наличии материалов аэрофотосъёмки и космических снимков более крупномасштабных и более современных, чем используемые карты, необходимо привлекать их для установления степени достоверности карт путём их сопоставления. Эти же материалы используются для уточнения границ различных угодий и

положения гидрографических объектов на картах, особенно при изучении малых водных объектов и их водосборов [1].

5.1.5.8 При необходимости сравнения длин водотоков, площадей водоемов и водосборов, уклонов и других морфометрических характеристик, измеренных по картам, масштаб которых отличается от масштаба 1:100 000, с опубликованными данными в официальных изданиях Росгидромета, следует выполнить параллельные измерения этих характеристик по картам масштаба 1:100 000, а затем сравнить полученные результаты. Целесообразно использовать данные справочных изданий Росгидромета: «Гидрологическая изученность», «Основные гидрологические характеристики», «Ресурсы поверхностных вод СССР» и др.

5.2 Космические снимки

5.2.1 Характеристика космических снимков

5.2.1.1 На космических снимках отображается состояние территории на момент съемки. Совмещение разновременных снимков с использованием картографических материалов, позволяет проследить изменения, происходящие в природе, а также получить количественные и качественные характеристики водных объектов суши и их водосборов в современном их состоянии.

5.2.1.2 Все космические снимки делятся на аналоговые (обычно фотографические) и цифровые (электронные). В зависимости от технологии получения изображения выделяются снимки оптические (пассивные) и радиолокационные (активные).

5.2.1.3. Охват территории, а также пространственное, радиометрическое, спектральное и временное разрешение космических снимков зависит от орбиты, типа космического носителя и съёмочных приборов, используемых при дистанционном зондировании Земли (ДЗЗ). Эти характеристики используются для классификации космических снимков.

5.2.1.4 Снимки обычно содержат справочную информацию (метаданные), например:

- спектральное разрешение изображения (количество каналов);
- пространственное разрешение (размер пикселя);
- радиометрическое разрешение (глубина пикселя);
- пространственная привязка (проекция, система координат);
- название датчика;

- дата съёмки (дата получения);
- облачный покров;
- смещение от надира.

5.2.1.5 Главной характеристикой космических снимков, в отличие от аэрофотоснимков, является не масштаб, а пространственное разрешение на местности, т.е. размер самого малого объекта (детали), который отобразился на снимке и может быть распознан в процессе его дешифрирования. Для цифровых космических снимков пространственное разрешение характеризуется размером пикселя (на поверхности Земли), записываемого в растровое изображение [9], [10], [11].

Пространственное разрешение космических снимков (размер пикселя на местности), в зависимости от съёмочных систем, установленных на спутниках, изменяется в широких пределах: от очень высокого (0,3–0,9 м) и высокого (1–40 м) разрешения, до среднего (50–250 м) и низкого (300–1000 м) разрешения.

Примерное соотношение масштаба карт с пространственным разрешением снимков показано в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Соотношение масштаба карт с пространственным разрешением снимков

Показатели	Диапазон			
Разрешение снимка, м	0,3 - 2	2 - 15	15 - 30	более 30
Масштаб карты	1:1 000 – 1: 10 000	1: 10 000 – 1:50 000	1: 50 000 – 1:100 000	1: 100 000 и мельче

5.2.1.6 Радиометрическая разрешающая способность снимка определяется количеством градаций значений яркости, соответствующих переходу от абсолютно «чёрного» к абсолютно «белому», и выражается в количестве бит на пиксел изображения. В случае радиометрического разрешения 8 бит на пиксель получается 256 градаций яркости ($2^8 = 256$), 12 бит на пиксел - 4096 градаций ($2^{12} = 4096$).

Сенсоры с более высоким радиометрическим разрешением позволяют различать больше деталей на очень ярких или очень тёмных областях снимка.

5.2.1.7 Панхроматические изображения (Pan) являются чёрно-белыми (одноканальными) и занимают практически весь видимый диапазон электромагнитного спектра (450-900 нм).

Мультиспектральные (или спектрозональные) изображения (MS) представлены в виде отдельных спектральных каналов (RGB, ультрафиолетовые и инфракрасные каналы) или в виде синтеза отдельных каналов для получения цветного изображения. Гиперспектральные изображения (GS) содержат до нескольких сотен каналов. Поочередный синтез отдельных каналов позволяет решать многочисленные тематические задачи, а также помогает при дешифрировании снимков.

5.2.1.8 Пространственное разрешение панхроматического изображения (при его наличии) всегда лучше мультиспектрального, поэтому для получения цветного изображения с наилучшим разрешением производят слияние мультиспектральных каналов с панхроматическим (Pan-Sharpening).

5.2.1.9 Для морфометрических измерений необходимо применять крупномасштабные изображения высокого разрешения (с разрешением на местности до 30 м).

Информация о спутниках, данные с которых доступны потребителям и могут быть использованы в морфометрических расчетах представлена в систематизированном виде в таблице 5.8 (gost.e-ecolog.ru).

5.2.1.10 Для определения точного расположения снимка на поверхности Земли необходима его географическая привязка. В отдельных случаях эта информация хранится вместе с самим изображением. Когда ГИС-приложение открывает снимок, информация о привязке используется для того, чтобы снимок в пространстве ГИС отобразился на своем месте. Привязка включает в себя координаты левого верхнего угла изображения, размер пикселей изображения по высоте и ширине, угол поворота.

Иногда информация о географической привязке содержится в текстовом файле, сопровождающем растр (файл привязки). Внешний файл привязки имеет больший приоритет для ГИС-программы. Поэтому, если растр имеет и внедренную привязку, и внешний файл, то в ГИС-программе располагаться в географическом пространстве он будет в соответствии с координатами из внешнего файла.

Таблица 5.8 – Спутники, данные с которых могут быть использованы в морфометрических расчетах

Спутники	Размер пикселя на местности, м			Ширина полосы съемки, км		Эксплуатация
	менее 2	2 - 15	15 - 30	Pan	Ms	
БКА		Pan(2.1), MS(10.5)		23	20	С 2012г., на 5 лет
Канопус-В		Pan(2.1), MS(10.5)		23	20	С 2012 г., на 5 лет
Монитор-Э		Pan (8)	MS(20/40)	90	160	2005 - 2008г.
Ресурс-ДК1	Pan (1) до 2011г	MS (2-3) до 2011г., после MS(3-5), PAN (2.8)		4.7 – 28.3		С 2006 г., на 3 года Выключен в 2016г.
Ресурс-П 1,2,3 (ГСА)	Pan (1)	MS (3-4)		38		С 2013, 2014, 2016гг., на 5 лет
Ресурс-П 1,2,3 (ШМСА_ВР)		Pan (12)	MS (24)	96		С 2013, 2014, 2016гг., на 5 лет
ALOS-3	Pan (0.8)	MS (5)	GS (30)	50	90 GS(30)	С 2019 г., на 5 лет
Cartosat-2B	Pan (0.8)			9,6		С 2010 г., на 5 лет
GeoEye-1	Pan(0.4), MS(1.7)			15.2		С 2008г., на 7 лет
GF(1)	Pan(2)	MS(8)	MS(16)	60	60, 830	С 2013 г., на 5-8 лет
GF(2)	Pan(0.8)	MS(3.24)		45		С 2014 г., на 5-8 лет
Iconos	Pan (0.82)	MS(3.28)		11		1999 – 2015гг. (7 лет)
Ingenio		Pan(2.5), MS(10)		60		План 2018г, на 7 лет
Kompsat-3	Pan(0.5)	MS(2.8)		16.8		С 2012 г., на 4 года
Kompsat-3A	Pan(0.5), MS(2)			12		С 2015 г., на 4 года
Landsat-7		Pan (15)	MS(30)	185		С 1999 г., на 7 лет
Landsat-8		Pan (15)	MS(30)	185		С 2013 г., на 5 лет
Miranda VRSS-1		Pan(2.5), MS(10)	MS(16)	57	57;369	С 2012 г., на 5 лет
OrbView-3	Pan (1)	MS(4)		8		2003 - 2007 гг.
QuickBird	Pan (0.61)	MS(2.44)		16.5		2001 - 2014гг., (7 лет)
RapidEye		MS(6.5)			77	С 2008 г., на 7 лет
Sentinel-2		MS(10)	MS(20)		290	С 2015 г.-Sentinel-2A, 2017 г. - Sentinel-2B., на 7 лет
Spot-6,7	Pan (1.5)	MS(6)		60		С 2012; 2014 гг., на 10 лет
Terra/ASTER		MS(15)	MS(30)		60	С 1999г., на 6-7 лет
WorldView-2	Pan(0.5), MS(2)			16.4		С 2009г., на 7 лет
WorldView-3	Pan(0.31), MS(1.24)	GS(3.72)	GS(30)	13.1		С 2014г., на 7 лет

5.2.1.11 В таблице 5.9 приведены некоторые форматы растров, используемых в космических снимках (информация с сайта ArcGis gost.e-ecolog.ru).

Таблица 5.9 – Некоторые форматы растров космических снимков.

Формат	Расширения и файл привязки
ERDAS IMAGINE	Один файл - расширение *.img Если файл > 2 Гб - расширение *.ige. Файл привязки - расширение *.igw
Joint Photographic Experts Group (JPEG) File Interchange Format (JFIF)	Один файл - расширения *.jpg, *.jpeg, *.jpc или *.jpe. Файл привязки - расширение *.jgw
National Imagery Transmission Format (NITF) 2.0, 2.1	Один файл - расширение *.ntf
Tagged Image File Format (TIFF, GeoTIFF.)	Возможные расширения *.tif, *.tiff и *.tff Файл привязки - расширение *.tfw

5.2.2 Космические снимки Российской Федерации

5.2.2.1 Дистанционным зондированием из космоса и эксплуатацией предназначенных для этого космических аппаратов и наземных средств приема в России занимаются ведомства: Роскосмос, Минобороны России, Росреестр, Росгидромет.

5.2.2.2 АО РКЦ "Прогресс" разрабатывает комплекс "Ресурс-П", наиболее перспективную отечественную систему космического наблюдения.

5.2.2.3 АО «НИиП центр «Природа» производит космоснимки для гражданских нужд: картографирования, экологического мониторинга, изучения природных ресурсов и др.

5.2.2.4 ФГБУ "НИЦ "Планета" Росгидромета (Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии "Планета") – ведущая организация по эксплуатации и развитию национальных космических систем гидрометеорологического, океанографического назначения и мониторинга окружающей среды, а также по приёму и обработке данных с зарубежных спутников. Зоны приёма региональных центров обеспечивают получение спутниковой информации по всей территории России и Европы. На сегодняшний день российская группировка спутников метеорологического и природно-ресурсного назначения включает в себя четыре космических аппарата:

геостационарный спутник "Электро-Л" №1 и четыре полярно-орбитальных спутника – "Метеор-М" №1, "Метеор-М" №2, "Канопус-В" и "Ресурс-П".

5.2.2.5 Картографические интернет-сервисы, содержащие космические снимки и навигационные карты: Google Earth, Google Maps, Bing Maps, DigitalGlobe, Яндекс.карты, Yahoo! Maps, VirtualEarth, Gurtam, OpenStreetMap, eAtlas, iPhone maps и др. могут использоваться только для обзорных целей и рекогносцировочных задач. Для точных картометрических работ эти материалы не рекомендуются к применению, поскольку высотная основа в данных сервисах не соответствует по точности решаемым задачам.

5.3 Цифровые модели местности

5.3.1 Способы цифрового представления рельефа, согласно [12], имеют вид:

- векторных линий (горизонталей, изобат или иных изолиний);
- нерегулярной триангуляционной сети (TIN-модели), включающей некоторую совокупность точек с высотными отметками, по которым проведена триангуляция. TIN-модели создают по данным цифровой векторной карты или по данным топогеодезической съёмки рельефа;
- регулярной матрицы высот поверхности (матрица высот, сетка).

5.3.2 Сеточный формат является разновидностью растрового формата. Вся площадь карты разбивается на элементы регулярной сетки (ячейки), например, 5х5 м. Каждой ячейке соответствует только одно значение (высоты, глубины или др.).

Для подготовки сеточных данных часто используют данные в векторном формате.

Сеточные модели удобны для изображения распределения по территории каких-либо непрерывных характеристик (например, рельефа местности, глубин водоема).

Важнейшим недостатком представления рельефа в виде регулярной матрицы является несоответствие координатной сетки (точек матрицы) структуре рельефа. Здесь предполагается равнозначность всех точек цифровой модели и допускается возможность игнорировать особые, наиболее значимые точки рельефа, находящиеся на линиях тальвегов и водоразделов, перегибах скатов. В

связи с этим важным является выбор оптимального шага сетки, так как с его увеличением растут погрешности цифровой модели, а с уменьшением резко возрастают объёмы данных.

5.3.3 В Интернете в свободном доступе имеется множество иностранных сеточных моделей местности, в том числе: GTOPO30, ETOPO2, SRTM, ASTER GDEM и др. Они не пригодны для морфометрических работ, поскольку:

- не соответствуют по точности в плане и по высоте. Ошибки неоднородны и достигают 100-160 м по высоте;
- находятся в системах высот, отличных от Балтийской системы высот 1977 года, принятой в Российской Федерации;
- не привязаны к опорной геодезической сети РФ, и, как следствие, имеют непредсказуемые ошибки в местоположении.
- не соответствуют по масштабу, поскольку их разрешение 30 метров и более.

Вышеперечисленные матрицы высот могут оказаться полезными для предварительной оценки данных и для общего представления о рельефе местности.

5.3.4 В качестве моделей рельефа местности рекомендуется использовать TIN-модели и матрицы высот, преобразованные с российских цифровых топографических карт, планов и данных топографической съёмки местности с сечением рельефа не менее: 1 м для равнинного рельефа и 2 м для горной местности. При этом размер сетки в матрице высот должен соответствовать масштабу исходных данных.

5.4 Подбор и приобретение карт и космических снимков

5.4.1 Режимы доступа

Специальных лицензий на работу с данными дистанционного зондирования и цифровыми картами не нужно. ДДЗ (любого производителя) с разрешением от 4 метров и карты в масштабе 100 000 и мельче являются открытыми и приобретаются свободно. ДЗЗ с разрешением менее 4 метров, а также карты в масштабе крупнее 100 000, являются секретными, и для работы с ними требуется лицензия ФСБ.

5.4.2 Приобретение картографических материалов

Подбор топографических материалов необходимого масштаба на тот или иной водный объект и его водосборную площадь

осуществляется по специальным сборным таблицам, представляющим собой карты более мелкого масштаба с нанесённой на них разграфкой и номенклатурой листов топографических карт одного или нескольких масштабов (рисунок 5.3).

5.4.2.1 Для определения номенклатур и количества листов карт, покрывающих изучаемый водосбор, необходимо на сборной таблице оконтурить этот водосбор, а затем выписать номенклатуру всех листов карт, расположенных внутри этого контура и пересечённых границей водосбора.

5.4.2.2 Учреждения и организации Росгидромета РФ, как и другие ведомственные организации, обеспечиваются картографическими материалами территориальными предприятиями Росреестра [13] или Госгисцентром [14] по соответствующим заявкам.

Заявки составляются по установленной Росреестром форме согласно [15]. В заявку включается список листов карт и схема их расположения на сборной таблице.

При составлении заявок на топографические карты, следует указывать на необходимость присылки всех запрашиваемых листов карт. Если какой-либо лист отсутствует, он должен быть заменён листами карт более крупного масштаба.

5.4.2.3 Установление наличия картографических материалов на тот или иной район, сроков обновления и переиздания их, получение сведений о происшедших изменениях на местности, об изменении географических названий осуществляется через территориальные инспекции Росреестра, ведущие специальные дежурные справочные карты, на которых фиксируются все существенные изменения, происходящие на местности.

5.4.2.4 По вопросам приобретения электронных карт и планов в форматах ГИС Панорама, ArcGis, AutoCAD и MapInfo, заказа работ по созданию карт, планов и матриц высот на территорию России необходимо обращаться в следующие организации:

- Росреестр [13]. Карты и планы можно заказать во всех местных отделениях Росреестра;
- ФГУП «Госгисцентр» [14]. В Госгисцентре имеются цифровые карты в масштабе 1:100 000 на всю территорию России и наборы топографических карт трех основных масштабов: 1:25 000, 1:50 000, 1:10 000.

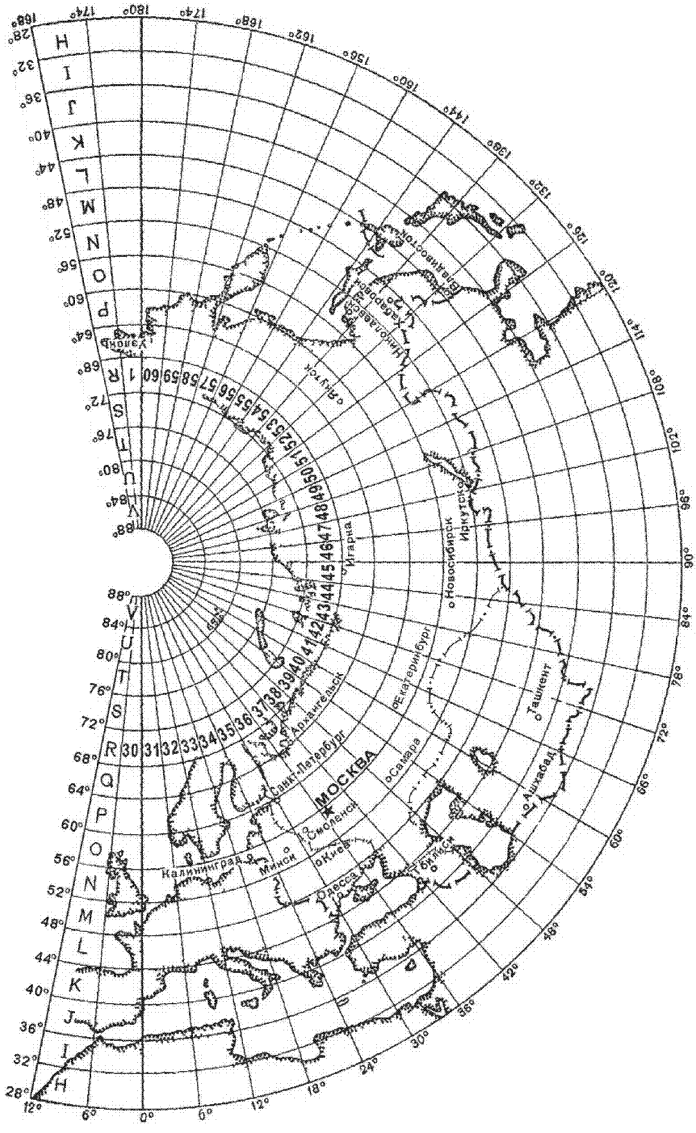

Рисунок 5.3 – Международная разграфка листов карты масштаба 1:1 000 000

5.4.3 Приобретение данных дистанционного зондирования

На специализированных серверах в сети Интернет доступны каталоги снимков, информация о спутниках, съёмочных системах, приводятся примеры снимков и условия продажи или бесплатного приобретения.

Для российских данных дистанционного зондирования первый способ приобретения – покупка их у организации-производителя. Для зарубежных данных ДДЗ предпочтительно приобретение у российских дистрибьютеров соответствующих зарубежных фирм.

5.4.3.1 По вопросам приобретения космических снимков в России рекомендуется обращаться в следующие организации:

- научный центр оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ). Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) российской группировки космических аппаратов доступны по адресу - gost.e-ecolog.ru л/zakaz/data;
- лабораторию информационной поддержки космического мониторинга (SMIS) Института космических исследований РАН (gost.e-ecolog.ru);
- ФГБУ "НИЦ "Планета" (gost.e-ecolog.ru ;
- АО «НИиП центр «Природа» (gost.e-ecolog.ru);
- «СканЭкс» (http: //gost.e-ecolog.ru
- «Совзонд» — официальный дистрибьютор нескольких зарубежных компаний-операторов КА, осуществляющих съемку (gost.e-ecolog.ru

5.4.3.2 Ведущие международные центры распространяют архивные данные ДЗЗ, в том числе:

- Германский центр данных дистанционного зондирования (DLR), содержащий данные Ресурс-01, Landsat и др. (gost.e-ecolog.ru);

- Геологическая служба США (USGS) содержит архивы бесплатных снимков Landsat и Sentinel (gost.e-ecolog.ru). Подробная инструкция по работе с архивом, расположена по адресу - gost.e-ecolog.ru ;

- Европейское космическое агентства (ESA) содержит архивы снимков Sentinel (gost.e-ecolog.ru).

6 Установление местоположения и границ водных объектов

6.1 Установление местоположения и границ водных объектов по картам

6.1.1 Подготовительные работы:

1) подобрать необходимые топографические материалы соответствующего масштаба, покрывающие весь объект;

2) провести анализ топографических материалов с целью установления особенностей изображения на них тех или иных элементов содержания, используя для этой цели дополнительную информацию, помещаемую в метаданных к цифровым картам;

3) отметить на карте наиболее сложные участки установления границ тех или иных угодий, для которых необходимо использовать более крупномасштабные карты, комические снимки, аэрофотоматериалы или провести гидрографическое полевое обследование.

6.1.2 Границу водосбора водного объекта определяют с предельно возможной точностью поскольку от этого зависит точность определения площади водосбора и связанных с ней других характеристик водных объектов.

В площадь водосбора водного объекта включаются площади, ограниченные водораздельной линией, в том числе площади всех водоёмов и их водосборов и площади бессточных областей (замкнутых впадин), отметка высоты дна которых больше отметки высоты уровня водного объекта в створе поста. Замкнутая впадина с водоемом в ней, высота уреза воды которого меньше высоты уреза воды в замыкающем створе, в площадь водосбора не включается.

Основным фактором, определяющим местоположение границы водосбора, то есть водораздельной линии, является рельеф местности. Водораздельная линия проходит по окраинным наивысшим точкам водосбора, которыми являются холмы, возвышенности, гребни хребтов, отрогов и т.п.

Проведение границы водосбора реки или озера в горной местности или местности с достаточно четко выраженным рельефом не представляет трудности.

Чем слабее выражен рельеф местности, тем он менее четко отображен и на топографической карте и тем сложнее процесс установления местоположения водораздельной линии. Особенно

сложно сделать это на топографических картах, покрывающих равнинные, преимущественно низменные территории, часто сильно заболоченные, с большим количеством озёр, с незначительными относительными превышениями в рельефе, недостаточно подробно отображаемыми горизонталями принятого на карте сечения. В таких случаях при установлении местоположения водораздельной линии нельзя ограничиваться картами одного масштаба. Необходимо привлекать карты более крупного масштаба и космические снимки. В сложных случаях следует использовать для этих целей аэрофотоматериалы и различные гидрографические описания.

При проведении границ водосбора тщательному анализу подлежат все средства изображения рельефа местности: основные, дополнительные и вспомогательные горизонтали, указатели направления течения рек, отметки высот и урезов воды, условные обозначения малых форм рельефа, как естественных, так и искусственных, а также другие косвенные признаки, в той или иной степени отражающие неровности поверхности и способствующие более точному определению местоположения водораздельной линии (болота, солончаки, дороги, канавы, луга, леса и т.п.).

Особую сложность в установлении границ водосборов по картам представляют районы с большими нарушениями природных условий, вызванными хозяйственной деятельностью человека: постройкой железных и шоссейных дорог, разработками различных полезных ископаемых, особенно открытым способом (образование карьеров, шурфов и т.д.), проложением систем оросительных и осушительных каналов и канав, часто вызывающих перераспределение стока между водосборами и т.п. Устанавливать местоположение водораздельной линии в таких районах необходимо с использованием наиболее крупномасштабных топографических карт (1:25000, 1:10000 и крупнее). При этом следует обращать внимание на расположение мостов и дорожных труб на дорогах, пересекающих естественный водосбор, устанавливать уклон канав, ограничивающих дороги, т.п.

Самым надежным способом уточнения положения водораздела в районах, сильно измененных хозяйственной деятельностью, и на доступных участках слабо расчленённой заболоченной местности считается полевое обследование.

В некоторых очень сложных районах, даже с использованием всех имеющихся картографических материалов и результатов полевого

обследования, не всегда удается точно установить водораздельную линию. В этом случае данные о площади водосбора и других характеристиках, связанных с ней, следует считать приближенными и сопровождать их специальным знаком и примечанием [1].

Границы водосборов большей части крупных и средних рек России уже определены и нанесены на схемы в соответствующих справочных изданиях Гидрометслужбы. В электронном виде эти данные имеются в подразделениях Министерства природных ресурсов. Но поскольку эти работы выполнялись различными организациями, специалистами разной квалификации и по разномасштабным картам, зачастую имеются существенные разногласия в отнесении некоторых водных объектов к тому или иному водосбору. В любом случае перед началом картометрических работ необходимо проверить точность нанесения водоразделов.

Если граница водосбора уже имеется в электронном виде, то она берётся за основу. Линия водораздела совмещается с цифровой топографической основой и редактируется в соответствии с речной сетью и рельефом.

В случае автоматизированного определения линии водораздела необходимо предварительно создать цифровую модель местности из цифровой векторной карты. На основе этой модели с помощью ГИС-технологии необходимо провести линию водораздела и проверить точность её нанесения. Для этого совмещаются полученная линия водораздела, а также слои рельефа и гидрографии цифровой карты или космический снимок. Изображение на экране чётко покажет правильность проведения линии водораздела в отношении речной сети и рельефа местности. В случае необходимости следует отредактировать линию водораздела, учитывая, что она должна проходить по самым высоким местам рельефа и не может пересекать водотоков.

6.1.3 Бессточные области (замкнутые впадины), выделяемые в пределах площади водосбора, представляют собой замкнутые понижения, не имеющие поверхностного стока в водный объект. Установление их границ связано с установлением положения водораздельной линии, ограничивающей впадину. Поскольку площади замкнутых впадин всегда значительно меньше всей площади бассейна, то для установления их границ необходимо привлекать топографические карты или снимки более крупного масштаба. Выбор

соответствующего масштаба карт определяется площадью замкнутой впадины, характером рельефа и степенью подробности его отображения на карте. При установлении и проведении водораздельных линий, ограничивающих замкнутые впадины, необходимо использовать все средства изображения рельефа и косвенные признаки, указывающие на наличие впадин и местоположение их границ, как и при установлении границ водосборов. Первыми признаками наличия впадин являются бессточные озера, отдельные болота, солончаки и др. Однако основным признаком, подтверждающим наличие впадины, является замкнутая горизонталь с указателем направления ската вовнутрь, часто занятая внутри указанными выше объектами. Особое внимание следует обращать на искусственные замкнутые впадины. В отличие от других элементов рельефа, изображаемых на топографических картах коричневым цветом, они показаны чёрным цветом. К ним относятся карьеры, выработки и подобные объекты, которые должны быть отнесены к площади впадин, если они показаны на карте [1].

6.1.4 Наличие на территории водосборов различных угодий, так или иначе влияющих на гидрологический режим территории, обусловливает необходимость определения таких характеристик, как лесистость, распаханность, заболоченность и др., которые выражаются в процентах от общей площади водосбора.

Для определения этих характеристик необходимо знать площади, занимаемые соответствующими угодьями, а для этого необходимо установить границы этих угодий [1].

При установлении границ тех или иных угодий часто возникают трудности четкого нанесения их на карту из-за большой перегруженности карты другими элементами содержания. Особенно заметно это проявляется в условиях сильного расчленения выделяемых угодий на мелкие участки, значительного расчленения рельефа местности и большой густоты населенных пунктов. В таких сложных случаях рекомендуется всю подготовительную работу по установлению границ угодий и их оконтуриванию производить на вновь созданном, отдельном слое цифровой карты. При этом рекомендуется отключить ненужные элементы содержания и работать только с необходимыми слоями информации.

С целью исключения ошибок в определении морфологических характеристик при установлении вида и границ различных угодий следует руководствоваться следующими правилами [1]:

- для определения лесистости водосбора в границы лесистых угодий включаются все леса (в том числе низкорослые леса, полностью или частично вырубленный лес, горелый лес, бурелом), различные кустарники, парки, сады, питомники, виноградники, заросли бамбука, саксаула, стланика и плантации различных технических древесных и кустарниковых культур. Лес и кустарники на труднопроходимых, непроходимых и проходимых болотах, как правило, имеющие на картах зелёный фон, в лесистость не включаются. На топографических картах лесные угодья наглядно показаны контуром, различными штриховыми условными обозначениями и фоновой (зелёной) заливкой. Причем, леса, парки и сады, как правило, заливаются сплошным фоном, а кустарники, питомники и т.п. – растровой сеткой, дающей бледно-зелёный фон. Все угодья, относящиеся к лесным, подразделяются еще на суходольные и заболоченные. Границы заболоченных лесных угодий, расположенных на неоконтуренных болотах, проводятся по внешним концам синей штриховки с выделением внутримассивных незаболоченных участков, площадь которых превышает 1 км^2;
- для определения заболоченности водосбора в площадь болот включаются непроходимые, труднопроходимые, проходимые болота и заболоченные земли, как оконтуренные, так и не оконтуренные, точечным пунктиром чёрного цвета. Отдельные мелкие заболоченные участки размером до 0,5 км^2 и узкие заболоченные поймы рек и озёр, не оконтуренные на картах, при определении заболоченности водосборов площадью более 10 км^2 не учитываются. В площадь болот включаются также леса и кустарники по труднопроходимому, непроходимому и проходимому болоту и внутриболотные озёра. Установление границ болот не представляет особых трудностей, поскольку на картах они, как правило, выделяются контуром и заполняющими условными знаками, печатаемыми на картах синим цветом. Выделение границ верховых и низинных болот по топографическим картам производится приближенно по типу травяной растительности и по характеру рельефа поверхности. Верховым болотам свойствен моховой тип растительности, а низинным – травяной. Высотное

положение верховых и низинных болот может быть различным, но верховые болота чаще располагаются на водораздельных участках и, как правило, имеют выпуклую форму. Низинные болота могут располагаться как в понижениях, так и на возвышенных местах, но, в отличие от верховых, они имеют плоскую поверхность и богатую разнообразную растительность (травяную, зелёномошную или лесную). Проходимые и непроходимые болота часто бывают не оконтурены на картах точечным пунктиром, поэтому перед измерением их площадей необходимо установить и провести эти границы. Границей болот в этих случаях является линия, соединяющая внешние концы условного знака – синей штриховки. При наличии гидрогеологических карт крупного или среднего масштаба границы верховых и низинных болот можно выделить точнее, так как на них они изображаются различными условными знаками;

- определение распаханности водосбора сопряжено с некоторыми трудностями выделения на картах площадей, занятых пашнями, поскольку они не имеют специального условного знака и отображаются на картах отсутствием каких-либо заполняющих условных обозначений или фоновых заливок. Исключением являются случаи, когда небольшие участки пашни, расположенные в районах бедных ориентирами, например, среди крупных лесных или целинных массивов, выделяются контуром и подписью "П" или "пашня". К пашням относятся также огороды и различные сельскохозяйственные угодья и плантации с ежегодной вспашкой поля. При оконтуривании угодий, относящихся к пашне, необходимо следить за тем, чтобы не включить ошибочно в площадь пашни угодья, не относящиеся к ним, заполненные на карте редкими, иногда слабозаметными условными знаками, изображающими степную травянистую растительность, полупустынную растительность, глинистые и щебёночные участки с редкой растительностью, выгоны, моховую растительность, каменистые поверхности, лишайниковую растительность и т.п.;
- для определения урбанизированности водосбора необходимо установить границы территорий, занятых населенными пунктами, хозяйственными постройками и шоссейными дорогами. Под площадью населённых пунктов понимается площадь, занятая строениями (жилыми и нежилыми), дворами, улицами и

площадями. На топографических картах эта площадь оконтуривается по внешним частям залитых кварталов, включая улицы, площади и внутриквартальные территории. Площади, занятые огородами, в эту характеристику не включаются, так как они относятся к пашне. Хозяйственные постройки также оконтуриваются по внешним краям условных обозначений этих объектов. Площади водосбора, занятые шоссейными дорогами, определяются по их длине, измеряемой по топографическим картам и соответствующей ширине, показываемой на картах;

- для определения оледенённости водосбора границы ледников, снежников и наледей устанавливаются на топокартах без особых затруднений [1].

6.1.5 Для определения длины водотоков требуется установить местоположение их истоков и устьев. Истоком реки является место, с которого появляется постоянное течение воды в русле. Истоками рек могут служить озёра, родники, ключи, начало открытого потока на болоте, выход на поверхность водного потока у нижнего края ледника и т.п.

У пересыхающих рек за исток принимается место на дне ложбины (балки), где начинают прослеживаться следы русла, разрабатываемого талыми или дождевыми водами.

На крупномасштабных картах (1:100 000 и крупнее), как правило, показываются все истоки рек.

При установлении местоположения истоков рек и в целом гидрографической сети необходимо руководствоваться следующими правилами [1]:

- на топографических картах за исток реки, если он не уточнен по данным полевого гидрографического обследования, следует принимать начало её изображения сплошной или пунктирной линией, либо ключ или родник, являющийся началом реки;
- если река вытекает из озера, то за её исток принимается точка пересечения линии реки с береговой линией озера (для рек, изображаемых одной линией) или точка пересечения средней линии реки с продолжением береговой линии озера (для рек, изображаемых двумя линиями);
- если река вытекает из болота, за исток реки принимается начало сплошной или пунктирной линии, изображенной на карте. Часто верховья рек, вытекающих из болот, бывают канализованы. В

этом случае истоком реки следует считать начало основного осушительного канала, являющегося продолжением реки вверх по течению;

- если река образуется слиянием двух рек, имеющих свои собственные названия, отличные от названия основной реки, за начало основной реки условно принимается место слияния этих рек;
- если на топографической карте одна из двух составляющих рек имеет название, отличное от названия основной реки, а другая не имеет собственного названия, за начало основной реки принимается исток составляющей, не имеющей названия;
- в тех случаях, когда река образуется в результате слияния двух и более рек, не имеющих названий, за её начало следует принимать исток большего по длине составляющего притока. Если длина составляющих притоков одинакова, принимается исток той составляющей, у которой больше площадь водосбора. Если длина и площадь водосборов составляющих рек одинаковы, то за начало основной реки принимается исток той из составляющих, у которой он имеет большую высоту. И наконец, если все указанные выше характеристики одинаковы, за начало реки принимается исток левой составляющей, а в случае трёх составляющих – исток средней из них.

За начало оросительных судоходных и соединительных каналов, вытекающих из рек, озёр или водохранилищ, принимается точка пересечения линии канала с береговой линией водного объекта, из которого вытекает канал. Истоки осушительных каналов определяются также, как и истоки рек.

Во всех случаях для определения гидрографической длины речной системы за наиболее удаленный исток принимается либо исток самой реки, либо исток её какого-либо притока, образующего с основной рекой наибольшую длину русла данной речной системы.

6.1.6 Под устьем реки подразумевается место впадения её в другую реку, озеро, водохранилище, море или место, в котором река теряет свою воду вследствие ухода под землю (в карстовых районах), или место полного разбора на водохозяйственные нужды (орошение, водоснабжение и т.п.).

Определение местоположения устьев рек часто бывает затруднено как сложностью и разнообразием их форм, так и

изменением местоположения вследствие обильного выноса рекой твёрдого материала, прорыва рукавов и образования новых проток при наводнении и т.п.

В зависимости от характера процессов, происходящих в устьевой зоне, образуются различные по форме устья рек. По очертаниям в плане устья рек подразделяются на следующие основные типы [1]:

- нормальное устье, когда река сохраняет приближенно постоянную ширину до места впадения;
- воронкообразное затопленное устье (эстуарий или губа), постепенно расширяющееся в сторону моря в виде морского залива;
- дельта – форма устья реки, характеризующаяся наличием проток, островов, располагающихся веерообразно. По характеру отложений наносов встречаются несколько типов дельт (блокированная, выдвинутая, лопастная, клювообразная, сложная и бухтовая).

При установлении местоположения устьев рек, впадающих в море (озеро), следует учитывать, что дельты и эстуарии относятся к речным образованиям и их необходимо включать в длину реки.

Сложность и многообразие форм устьев рек позволяет установить общие правила определения местоположения лишь для наиболее выраженных устьев. Часто за устье рек, особенно крупных, судоходных, принимаются чисто условные пункты, отражающие либо исторические традиции, обусловленные судоходством, рыболовством и другими причинами, либо природные особенности водного объекта.

При установлении местоположения устьев рек по топографическим картам следует придерживаться следующих основных правил [1]:

- в общем случае за устье реки, изображенной на карте двумя линиями и впадающей в другую реку, озеро или море, принимается точка пересечения средней линии впадающей реки с береговой линией принимающей реки, озера, моря;
- устьем реки, имеющей дельту, считается место впадения главного рукава дельты, изображенного на топографической карте более толстой линией или наибольшей шириной при изображении в две линии; при наличии нескольких одинаковых по водности рукавов основным следует считать тот, который имеет больший уклон, а если уклоны одинаковы или не могут быть установлены, то за основной принимается наиболее короткий из них. У всех многорукавных

устьев, имеющих на карте названия рукавов, за устье принимается устье рукава, имеющего название основной реки;
- при впадении реки двумя рукавами в разные реки, основным из них следует считать более многоводный, а место его впадения принимается за устье;
- если река перед впадением в море образует озеро (разлив), соединенное с морем короткой протокой, за устье реки следует принимать устье протоки при впадении её в море;
- положение устьев рек, впадающих в моря с приливными явлениями, определяется на момент высокого уровня воды. На топографических картах положение устья соответствует этому уровню воды;
- положение устьев рек, впадающих в озера, определяется на момент межени, как и показано на топографических картах;
- положение устьев рек, впадающих в водохранилища, определяется при нормальном подпорном горизонте воды (НПГ), что также соответствует принятым правилам изображения на топографических картах;
- положение устьев пересыхающих рек или теряющихся в песках, болотах и разливах, при отсутствии уточняющих рекогносцировочных данных определяется по топографическим картам. За устье этих рек принимается конец обозначающих их на карте сплошных или пунктирных линий;
- если река полностью разбирается на орошение и оканчивается веером оросительных каналов, её устьем считается место разветвления на оросительные каналы;
- за окончание (устье) магистрального оросительного канала принимается место полного разветвления его на распределители; окончания осушительных и соединительных каналов принимаются аналогично устьям рек.

6.1.7 Для точного нанесения гидрологических постов на топографические карты необходимо иметь координаты постов, определенные с помощью GPS/Глонасс оборудования. Под местоположением гидрологического поста здесь имеется в виду местоположение на реке гидрометрического створа.

В ГИС-программах есть возможность автоматизированного нанесения на цифровые карты гидрологических станций и постов, имеющих географические координаты (широта, долгота). В этом случае пункты наблюдений наносятся либо прямым помещением на карту по

координатам, либо как слой точечных объектов, либо путём подключения списка постов в виде внешних баз данных или таблиц.

В случае отсутствия информации о географических координатах пунктов гидрологических наблюдений используется способ, основанный на использовании расстояния до поста от какого-либо известного объекта местности. В этом случае требуется отложить необходимое расстояние от указанного объекта местности и нанести пункт наблюдения на цифровую карту.

6.2 Дешифрирование водных объектов по космическим снимкам

6.2.1 Для максимально точного дешифрирования водных объектов по космическим снимкам необходимо использование в этом процессе современных цифровых топографических карт или планов местности, в котором космические снимки и топографические материалы взаимно дополняют друг друга.

Для качественного определения морфометрических характеристик водных объектов по космическим снимкам, необходима максимально точная привязка снимка к топографической основе. Характерными контурами привязки снимка служат береговая линия водоёмов и рисунок гидрографической сети. Эти объекты имеют мало изменяющиеся прямые дешифровочные признаки на всех видах космических снимков.

Если исследования проводятся на больших по протяженности реках или больших по площади озёрах, водохранилищах и водосборах необходимо привлекать снимки среднего разрешения, поскольку, эти снимки имеют оптимальное соотношение размера ширины полосы съёмки поверхности (порядка 100–200 км) и разрешающей способности (около 15–30 м) для решения рассматриваемой задачи.

Для получения более точных и надежных морфометрических характеристик водных объектов или водосборов на определённых, сравнительно небольших по размерам участках, следует использовать космические снимки более высокого разрешения в соответствии с таблицами 5.5 – 5.7.

Дешифрирование снимков осуществляется по дешифровочным признакам. Эти признаки определены в [16], [17], [18].

Для целей гидрологического дешифрования повышенной информативностью обладают снимки, полученные в диапазоне

0,6–0,8 мкм. Главными прямыми дешифровочными признаками поверхностных вод являются: ровный тёмный фототон и специфическая монотонная или выразительная структура изображения воды, снега и льда; извилистость непрерывно линейно вытянутого рисунка рек; овальная форма большинства озёр и приуроченность водотоков и водоёмов к пониженным элементам рельефа.

Дешифрирование одного зонального снимка осуществляется в том случае, если одна из съемочных зон в наибольшей степени удовлетворяет поставленной задаче. Например, вследствие свойства воды практически полностью поглощать излучение в ближней инфракрасной (ИК) зоне спектра (0,70–3,0 мкм), водные объекты на снимках в этой части спектра отображаются самыми тёмными тонами, что облегчает дешифрирование элементов гидрографии: рек, береговой линии озёр и водохранилищ, болот, обводнённых и затопленных участков суши, участков с влаголюбивой растительностью и т.д.

Изображения в ближней ИК зоне спектра при сравнении с одной из зон видимой части спектра всегда существенно отличаются. Поэтому для более надежного распознавания объектов используют два снимка: в ближней ИК и в одной из зон видимой части (0,4–0,7 мкм) спектра. Сопоставление снимков и их последовательное дешифрирование даёт хорошие результаты при разделении тающего и сухого снега, наличии переувлажненных почв и в ряде других случаях.

Наиболее часто при визуальном дешифрировании имеет место использование цветного синтезированного изображения из нескольких зональных снимков. Оно лучше воспринимается зрением, чем чёрно-белое, и иметь дело с одним снимком проще, чем с несколькими.

Для определения морфометрических характеристик водных объектов суши и их водосборов по космическим снимкам в общем случае рекомендуются цветные синтезированные изображения комбинации каналов 4(0,78–0,90 мкм), 5 (1,55–1,75 мкм) и 3 (0,63–0,69 мкм) при использовании снимков с ИСЗ «Landsat 5,7» и 5 (0,845–0,885 мкм), 6 (1,560–1,660 мкм), 4 (0,630–0,680 мкм) с ИСЗ «Landsat 8», а также комбинации каналов R (0,61–0,68 мкм), G (0,52–0,60 мкм) и B (0,45–0,52 мкм) при использовании снимков с КА «Ресурс-П», полученные в летний или осенний период.

6.2.2 Дешифрирование водотоков

Наиболее важным прямым дешифровочным признаком водотоков на снимках является их неповторимая извилистость на земной поверхности, поэтому речное русло легко отличается от любых других объектов. Косвенным дешифровочным признаком для русла являются его приуроченность к наиболее пониженным участкам рельефа.

Открытая чистая водная поверхность водотоков на спутниковых снимках отображается, преимущественно, однородным равномерным тёмным тоном и определяется безошибочно, поскольку хорошо отличается от прилегающих участков суши. Тон изображения открытой водной поверхности всего водотока (или на отдельных его участках) будет относительно светлым, если вода в реке мутная.

Для дешифрирования речного русла, а также для получения надежных сведений о длине водотока (или исследуемого участка), его извилистости, разветвлённости, наличии в русле островов и других русловых образований (осерёдков, пляжей, кос и т.д.), наиболее информативными являются качественные снимки с ИСЗ, полученные в летне-осеннюю межень. Песчаные и глинистые грунты русловых образований в этот период обнажены и изображаются на снимках сравнительно однородным светлым относительно водной поверхности тоном. На рисунке 6.1 хорошо различимы русловые образования реки Сабетта-Яха (пляжи, побочни, осередки). Озера имеют темный тон изображения.

Граница поймы реки на спутниковых снимках устанавливается как линия, разделяющая площади со сравнительно однородным тоном изображения, соответствующим дну долины, и площади, имеющие вид пестрой мозаики, соответствующие склонам долины и прилегающим участкам водоразделов. При наличии ясно выраженных вееров перемещения русла за границу поймы принимается линия, оконтуривающая участки с изображением этих вееров.

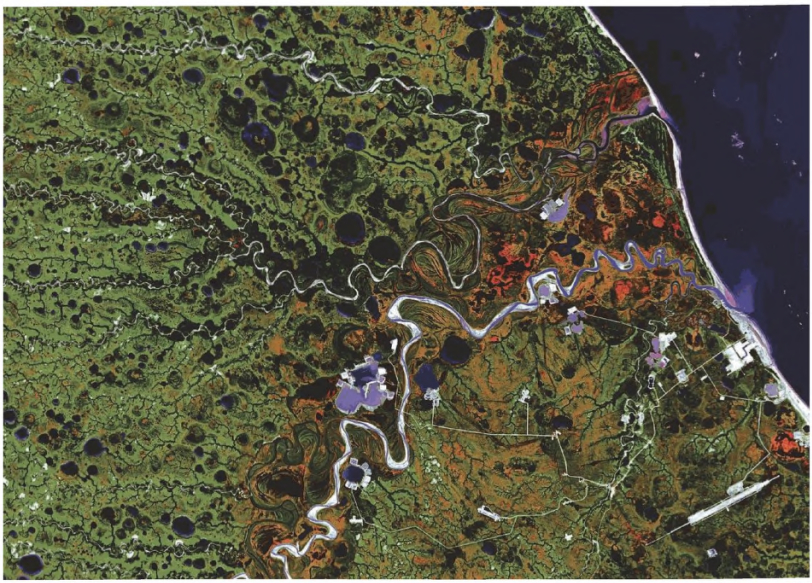

Рисунок 6.1– Фрагмент снимка реки Сабетта-Яха с ИЗС Landsat-8 от 21 июля 2013 г.

Этот дешифровочный признак наиболее востребован при установлении границы поймы на реках со свободным меандрированием (рисунок 6.2).



Рисунок 6.2–Участок свободно меандрирующего русла реки

На рисунке 6.2 русло реки имеет светлый тон, вода фиолетового цвета. На переходе от светло-зелёного к зелёному тону, расположена граница правобережной поймы реки Сабетта-Яха. На левобережной части поймы хорошо различимы веера перемещения русла (чередование тёмных и светлых полос).

В результате определения границы поймы получают сведения о ширине поймы и её расположении относительно русла водотока. Определение границ важно и для получения представления о максимально возможной ширине затопления поймы в период прохождения высокого половодья на водотоке.

Если река вытекает из озера, то установление местоположения истока водотока (место начала реки) на спутниковом снимке не вызывает каких-либо затруднений в силу наличия прямых дешифровочных признаков, а именно: начало извилистого русла реки примыкает к берегу водоёма; одинаковый однородный тёмный тон изображения водной поверхности этих водных объектов.

В других случаях при дешифрировании спутниковых снимков за исток реки следует принимать место (на снимке это будет точка) с которого появляется русло потока, дешифрируемое на изображении. Но здесь возможна ошибка, поскольку узкое русло водотока выше по течению от точки, принятой за исток, по причине сравнительно невысокой разрешающей способности используемых снимков, не дешифрируется. Поэтому, при необходимости, за местоположение истока водотока можно принять точку на снимке, с которой дешифрируется его долина, отображающаяся на снимках сравнительно однородным тоном.

Особую сложность при гидрологическом дешифрировании представляет процесс распознавания малых рек [17]. Например, в залесённых районах кроны деревьев могут полностью скрывать русла шириной до 5-6 м, в связи с чем, их выявление нередко затруднено даже на крупномасштабных (1:2 000–1:6 000) аэрофотоснимках.

Однако при определённых условиях съёмки и состоянии ландшафта можно получить удовлетворительные результаты дешифрирования малых рек даже на мелкомасштабных космических снимках. Например, на залесённых равнинных территориях во время интенсивного снеготаяния в верхнем звене речной сети начинает скапливаться большое количество талой воды. Благодаря контрастному фотоизображению водной поверхности и снега (воды и почвенно-растительного покрова) на снимках любого масштаба становятся хорошо заметными даже мельчайшие водотоки. Это позволяет детально изучить строение речной сети.

Например, для тундровых районов Сибири характерна задержка схода снега даже в незначительных углублениях рельефа, на 1-2

недели позднее снег стаивает также на затененных уступах микрорельефа. При весенней съёмке этот снег может служить индикатором речной сети. Пример космического снимка в период снеготаянья приведен на рисунке 6.3. На снимке хорошо видны мелкие притоки, покрытые снегом.

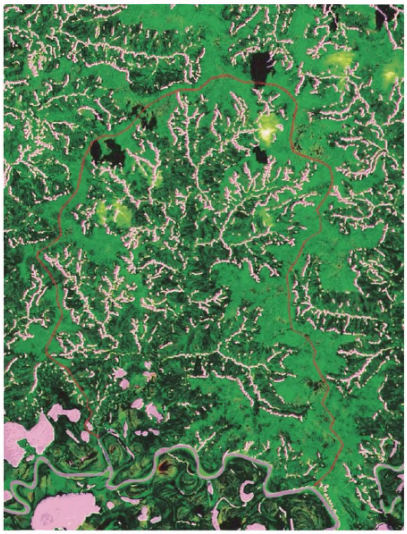

Рисунок 6.3–Фрагмент снимка реки Надуй-Яха с ИСЗ Landsat-8 от 7 июня 2015 г.

Оттенению рисунка речной сети на мелкомасштабных космических снимках способствует глубокий врез речных долин, особенно в малоконтурных горностепных районах. Повышению контраста способствует не только затененность склонов и днищ глубоких долин, но и развитие в прирусловой части более мощной растительности.

Широко используются косвенные признаки дешифрирования малых рек в освоенных сельскохозяйственных районах. Надежным индикатором рек являются пруды. Четко выделяются долины водотоков, оконтуренные участками пашен.

6.2.3 Дешифрирование водоёмов. Поверхностью воды поглощается почти вся падающая энергия в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне длин волн (от 0,7 мкм до 3 мкм). Вследствие такого сильного поглощения энергии водой и, следовательно, крайне низкой её отражательной способностью в этих диапазонах, чистая водная

поверхность на многоспектральных снимках отображается тёмным (чёрным) тоном и хорошо отличается от окружающих её растительности и почвы.

Распознавание открытых водоёмов на качественных спутниковых снимках, полученных в летний период, не вызывает затруднений, так как их береговая линия в большинстве случаев имеет достаточно чёткие очертания, а изображение водной поверхности, хорошо отличается от прилегающих участков суши.

На космических снимках показано озеро Тибей-то в 1987 году (рисунок 6.4) и в 2009 году (рисунок 6.5). Очевидно, что контуры озера существенно изменились за 22 года.

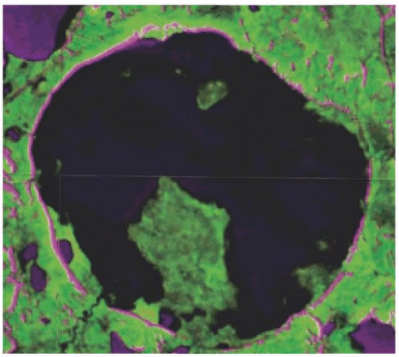

Рисунок 6.4–Озеро Тибей-то на снимке с ИСЗ Landsat-5 от 31 июля 1987 г.

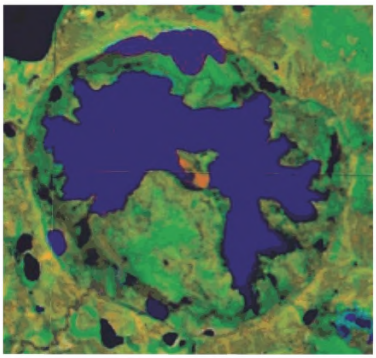

Рисунок 6.5–Озеро Тибей-то на снимке с ИСЗ Landsat-7 от 31 июля 2009 г.

Заснеженный ледяной покров водоёмов на космических снимках в зимний период, когда наблюдается полный ледостав, имеет белую матовую текстуру изображения [19], поти неотличимую от изображения заснеженной окружающей территории суши. Поэтому надежное дешифрирование границ водоёмов на указанных снимках затруднительно или невозможно.

В весенний период, когда на озёрах и водохранилищах появляются обширные участки открытой воды вдоль берегов, а снег на прилегающих участках суши растаял, береговая линия водоёмов на спутниковых снимках, полученных в этот период, может быть достаточно надёжно определена. Фототон водной поверхности и

конфигурацию рек, каналов, озёр и водохранилищ можно считать одинаковыми как в лесной, так и в степной и тундровой зонах.

Озёра дешифрируются, когда становится различимой их форма, но при большом скоплении озёр иногда удаётся опознать даже очень мелкие из них, которые изображаются на снимке в виде небольших тёмных точек [20].

В естественных условиях вода обычно не бывает чистой, а содержит органические и неорганические примеси. Мутность воды, вызываемая взвешенными примесями, является одним из основных факторов, влияющим на её спектральные характеристики. Мутная вода имеет более высокую отражательную способность и отображается на снимках более светлым тоном, сравнительно с прозрачной водой. Чем выше мутность воды, тем больше ее отражательная способность и тем светлее (ярче) тон её изображения на снимках. На рисунке 6.6 дешифрируется всплывший ледяной покров на озёрах (розовый тон), чистая вода (чёрный), мутная вода в русле реки и на озёрах (сиреневый).

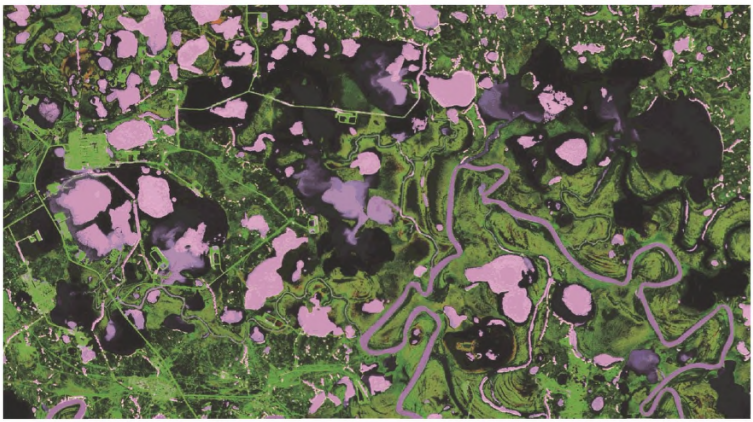

Рисунок 6.6–Фрагмент снимка правобережной части поймы реки Се-Яха с ИСЗ Landsat-8 от 7 июня 2015 г.

Искусственно созданные водоёмы отличаются от естественных по косвенным признакам – по наличию гидротехнических сооружений (плотин, дамб), которые определяются по прямолинейному рисунку границы в расширенной части водоёма [21].

6.2.4 Дешифрирование границ водосбора. Площадь водосбора реки является важнейшей характеристикой, в значительной степени определяющей величину стока.

Дешифрирование линии водораздела (границы водосбора) рекомендуется проводить по космическим чёрно-белым снимкам, выполненным в зоне 0,5–0,7 мкм, или по снимкам полученных путём синтеза многозональных снимков.

Основным фактором, определяющим местоположение границ водосбора, т.е. водораздельной линии, является рельеф местности [22].

В общем случае, границы водоразделов и площади водосборов, особенно для больших водных объектов, а также тех водных объектов, которые расположены на территориях, не подвергающихся интенсивному антропогенному воздействию, считаются достаточно устойчивыми характеристиками речной сети [23].

Линия водораздела проходит, как правило, по окраинным наивысшим точкам водосбора водного объекта, которыми являются хребты гор, возвышенности, холмы и т.п., окружающие речной бассейн или между истоками рек, которые направлены от водораздела в противоположные стороны. Поэтому проведение границы водосбора реки или озера в местности с достаточно четко выраженным рельефом не представляет особых трудностей.

При наличии развитой гидрографической сети и густой сети ложбин и лощин в прилегающей к водоразделу части склона, линия водораздела проводится посередине между чётко выраженными тальвегами ложбин и лощин в процессе дешифрирования спутникового снимка.

В равнинных и особенно в заболоченных районах, где рельеф местности выражен слабо, определить местоположение водораздельной линии трудно. Определенный результат может быть получен при дешифрировании спутниковых снимков, полученных в период снеготаяния, когда снежный покров на сравнительно возвышенных участках водораздела водотоков уже исчезает, но еще сохраняется в пониженных его частях. Светлый тон изображения снега резко выделяет их контуры и тем самым подчеркивает детали рельефа, которые могут быть использованы при определении местоположения линии водораздела водных объектов на спутниковых изображениях местности в весенний период (рисунок 6.7).

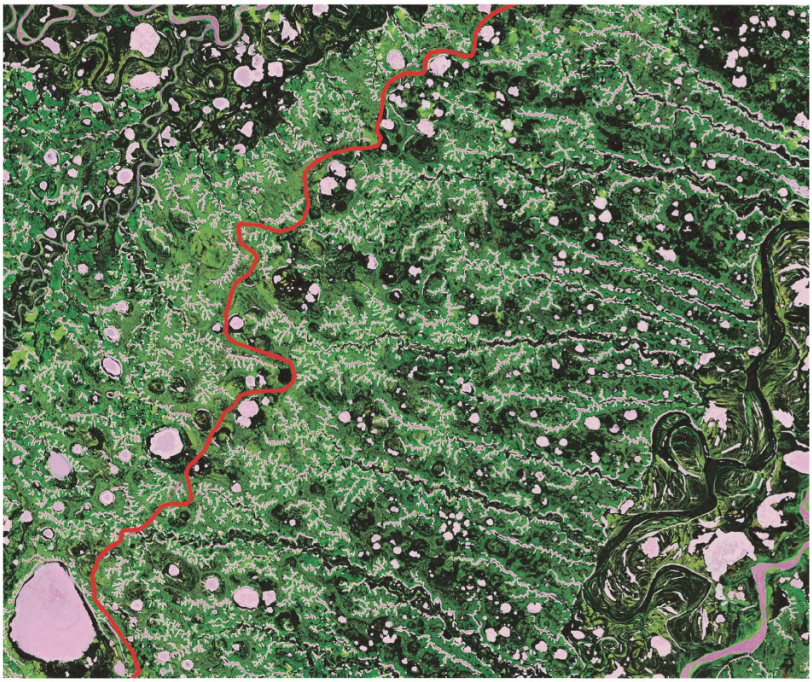

Рисунок 6.7–Фрагмент снимка водораздела рек Сабетта-Яха и Тамбей с ИСЗ Landsat-8 от 22 июня 2014 г. (синтез каналов 5,6,4,8)
Примечание: линия водораздела показана тонкой красной линией

Положение дешифрированной на космическом снимке линии водораздела следует сравнить с ее положением на топографической карте, а по результатам этого сравнения установить её фактическое местоположение.

6.2.5 Дешифрирование болот

Для определения заболоченности необходимо измерить суммарную площадь всех типов болот, расположенных в пределах исследуемого водосбора.

Выделяют болота низинные, расположенные на пониженных участках рельефа земной поверхности, верховые – расположенные на повышенных участках рельефа и переходные, которые занимают промежуточное положение между верховыми и низинными болотами.

Болота разных типов выглядят на космических снимках по-разному, но в процессе дешифрирования используются те их свойства, которые хорошо определяются по прямым дешифровочным признакам. К ним, в первую очередь, относится форма (конфигурация) отдельного болотного массива или болотной системы, которая образуется в результате слияния нескольких болотных массивов, поскольку большинству из них присуща неправильная форма в плане и округлые очертания.

Рисунок изображения лесных болот и облесенных его участков имеет мелкозернистую структуру, в то время как изображение лесов на окружающих болото суходолах, характеризуется более крупной и разнообразной зернистостью рисунка на спутниковом снимке.

При отсутствии на болоте древесной растительности (травяные, мохово-травяные и моховые болота), рисунок его спутникового изображения сравнительно гладкий, но разной тональности, которая зависит от видового состава растительности и степени увлажненности болотного микроландшафта. Чем сильнее обводнен тот или иной участок болота, тем более тёмный тон имеет его изображения на снимке.

6.2.6 Дешифрирование лесов

Залесённость (относительная лесистость) водосбора водного объекта характеризуется общей площадью лесных массивов (древесной растительности) на его территории.

При необходимости лесные угодья можно подразделить на следующие типы: хвойные, лиственные и смешанные.

Основными дешифровочными признаками растительности на космических снимках являются: структура рисунка, форма и тон изображения. Для леса и кустарника характерна зернистость рисунка. Размер и форма «зёрен» изображения лесов зависит от его густоты, а именно: чем гуще лесной массив на водосборе водного объекта, т.е. чем больше лесистость, тем более зернистым будет его изображение на снимке.

Дополнительным к рисунку признаком изображения древесной растительности на снимке является его тональность. Тон изображения на снимке темнохвойного леса (ель, сосна, пихта кедр и т.п.), характеризующихся меньшими коэффициентами яркости по сравнению

с другими лесами, более тёмный (почти чёрный), нежели осветлённый тон изображения лиственных лесов.

Границы распространения лесной растительности достоверно дешифрируются на летних и осенних снимках, после того как полностью распустилась листва на деревьях лиственных пород. В зимнее время хорошо дешифрируются только хвойные леса [18].

6.2.7 Дешифрирование урбанизированности и антропогенной нарушенности водосборов. При дешифрировании космических снимков определяются урбанизированные территории, занятые населенными пунктами, промышленными и сельскохозяйственными комплексами, железными и автомобильными дорогами, карьерами и трубопроводами, а также затопления и подтопления, вызванные строительством сооружений, разъезженные участки земли, участки с уничтоженным растительным покровом и другие антропогенные нарушения на водосборах рек.

Урбанизированные объекты имеют ряд общих дешифровочных признаков, к которым, в первую очередь, относятся: геометричность контуров, линейность, сравнительно чёткие границы и некоторые другие. Так, например, железные и шоссейные дороги, трубопроводы, линии электропередач и т.п. благодаря их сравнительно прямолинейной форме в плане, уверенно распознаются на спутниковых снимках. Карьеры имеют форму близкую к круглой или овальной и светлый тон изображения. Участки водосборов с нарушенным растительным покровом отображаются на снимках более светлым тоном сравнительно с прилегающей территорией, и т.д.

Но наиболее достоверное определение урбанизированности водосборов, динамики их антропогенной нарушенности, может быть осуществлено по результатам дешифрирования материалов последовательных космических съёмок, которые позволяют выявить изменения за период между съёмками. Ниже приводятся фрагменты снимка части территории Бованенковского месторождения с ИСЗ Landsat-5 от 8 июля 2009г. (рисунок 6.8) - начало интенсивного освоения и снимка с ИСЗ Landsat-8 от 7 июня 2015 г. (рисунок 6.9) – современное состояние территории. На рисунке 6.9 цифрами показаны 1) железные дороги, 2) грунтовые дороги, 3) трубопроводы, 4) взлётно-посадочная полоса аэропорта.

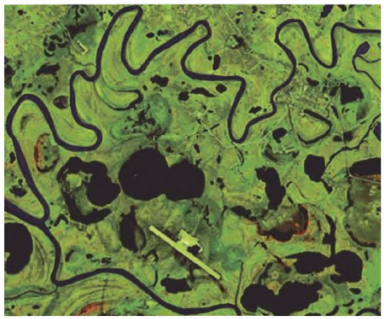

Рисунок 6.8–Устье реки Се-Яха с ИСЗ Landsat-5 от 8 июля 2009 г.



Рисунок 6.9–Устье реки Се-Яха с ИСЗ Landsat-8 от 7 июня 2015г.

Для выявления локальных изменений на водосборах водных объектов лучше применять увеличенные космические снимки. А определение урбанизированности и степени антропогенной нарушенности на водосборах больших рек целесообразно осуществлять по снимкам сравнительно мелких масштабов [21].

7 Основные принципы определения морфометрических характеристик водных объектов

Существенное влияние на точность определяемых характеристик оказывают ошибки, допускаемые в процессе измерения, главным образом за счёт неточности установления границ объектов и в результате нарушения методики измерений исполнителями.

Картометрические работы необходимо производить в строгом соответствии с действующими методиками и непременно в две руки, независимо друг от друга. При наличии недопустимых расхождений (более 2%) измерения должны быть сделаны повторно [1].

7.1 Определение морфометрических характеристик водотоков

7.1.1 Длина водотока

Длины рек и других водотоков измеряются по тем же топографическим материалам (картам, снимкам), по которым были определены границы и площади водосбора и различных угодий и установлены местоположения истоков и устьев рек. За длину реки

принимается протяженность её изображения на карте или на снимке от истока до устья или створа.

Для гидрологических расчётов требуется определение так называемой гидрографической длины реки [1].

Гидрографическая длина реки измеряется от истока самой реки или от истока одной из составляющих, образующей с частью основной реки наибольшую длину русла данной речной системы до устья или пункта наблюдений. Во всех случаях за длину реки (водотока), изображенной на карте одной или двумя линиями, принимается длина средней линии реки (водотока). При измерении больших рек, когда ширина реки показана двумя линиями, необходимо провести на цифровой карте в отдельном слое среднюю линию реки. Это делается для того, чтобы при повторном измерении не допускать ошибок за счет отклонения от этой линии (рисунок 7.1).

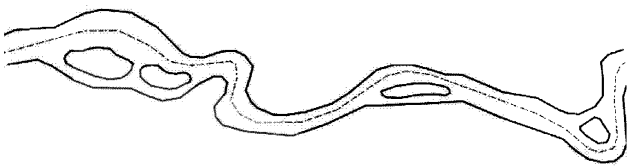

Рисунок 7.1 – Нанесение средней линии водотока

Если река разделяется на протоки, средняя линия проводится по более многоводному протоку, который устанавливается по изображению на топографической карте, гидрографическому описанию, лоции или каким-либо другим справочным материалам.

В тех случаях, когда река протекает через озеро или водохранилище, сохраняя при этом своё название, в длину реки включается и длина озера или водохранилища между точками впадения и выхода реки по средней линии водоёма или по условной линии, примерно совпадающей с положением прежнего русла реки до создания водохранилища (рисунок 7.2), а в гидрографическую длину включается независимо от названия рек между водоёмами.

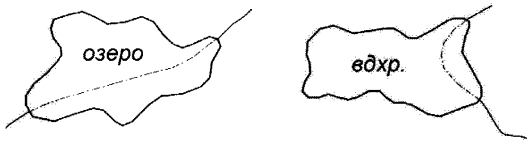

Рисунок 7.2 – К определению длины водотоков

Перед измерением длины реки необходимо кроме истоков и устья отметить на карте все пункты, до которых должна быть определена длина реки или длина её участков (притоки, гидрологические посты, гидротехнические сооружения и т.п.). Одновременно с этим находятся высотные отметки этих объектов, используемые в дальнейшем для определения уклонов реки (рисунок 7.3).

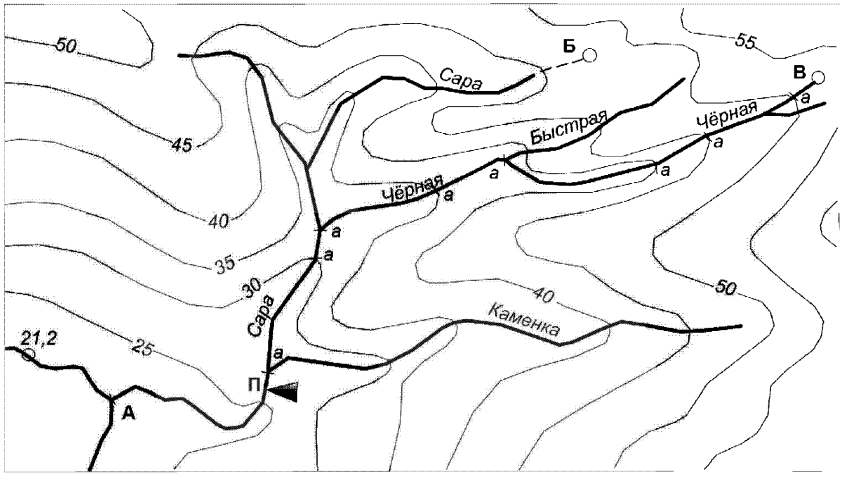

Рисунок 7.3 – Определение длины, среднего и средневзвешенного уклонов водотока

Примечание – А - устье р. Сара; Б - исток р. Сара; В - наиболее удаленный исток речной системы Сара; АБ - длина р. Сара; АВ - гидрографическая длина речной системы Сара; ПБ - длина участка р. Сара до поста; ПВ - гидрографическая длина участка речной системы Сара; АП - местоположение пункта (длина участка р. Сара от пункта до устья) в километрах от устья р. Сара: - засечки вдоль основного русла речной системы, до которых определяется длина участка реки от истока.

При компьютерном способе определения длина линии, заданная набором пар координат точек, вычисляется как сумма длин отрезков,

соединяющих эти точки. При этом нет необходимости измерять несколько раз, поскольку измерение производится автоматически – однозначно и без погрешности. Можно получить длину всей речной сети водосбора, каждого притока в отдельности или любого участка реки (например, от истока до устья или между створами гидрологических станций). Если река состоит из нескольких участков, то её можно «гидрологически исправить», то есть соединить в одну линию.

Длина отдельной линии (реки, горизонтали и др.) в ГИС-программах определяется автоматически из свойств данного линейного объекта или определяется соответствующим инструментом.

7.1.2 Средний и средневзвешенный уклоны реки

Вычисление среднего уклона производится по данным, полученным при определении отметок высот устья (пункта наблюдений) и наиболее удаленного истока речной системы, т.е. истока притока, составляющего с основной рекой наибольшую длину русла данной речной системы, а также из измерений гидрографической длины реки. Средний уклон реки вычисляется по формуле 4.2.

Значения среднего уклона реки используются при гидрологических расчётах только для рек с относительно ровным профилем на участках, не имеющих притоков.

Для рек с неровным профилем с частными уклонами, резко отличающимися от среднего уклона, используются координаты продольного профиля водотока либо вычисляется средневзвешенный уклон (рисунок 7.4).

Средневзвешенный уклон определяется только для незарегулированных водотоков, а также для участков рек, расположенных в нижних бьефах водохранилищ [24]. Средневзвешенный уклон реки в промилле вычисляется по формуле 4.1.

Исходные данные в виде отметок высот точек перегиба продольного профиля реки и длины участков реки от истока до этих точек, получаемые по топографическим картам, обладают определённой точностью. Отметки высот, определяемые главным образом путём интерполяции между горизонталями, обладают погрешностью, не превышающей для равнинных территорий 0,4 высоты принятого на карте сечения горизонталей и не более одного сечения для горных районов.

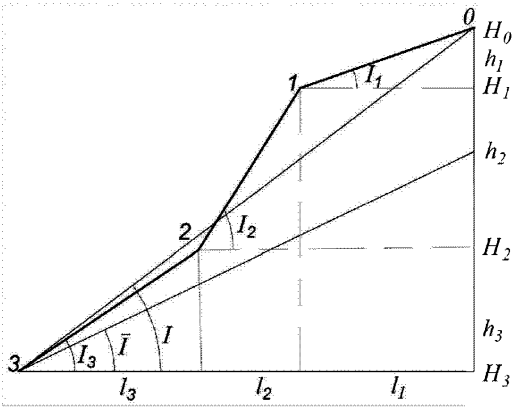

Рисунок 7.4 – Частные, средний и средневзвешенный уклон водотока

Примечание – I_1, I_2, I_3 - частные уклоны участков водотока, I - средний уклон водотока, $\bar{I}$ - средневзвешенный уклон водотока - горизонтальное проложение длины реки до устья (пункта), l_1, l_2, l_3 - участков реки. 1, 2 - переломные точки профиля водотока.

Средний и средневзвешенный уклоны реки необходимо вычислять и округлять с учётом точности исходных данных. Рекомендуемая степень округления уклонов рек в зависимости от длины реки и уклона приведена в таблице 7.1 [1].

Таблица 7.1 – Степень округления уклонов рек в зависимости от длины реки

Длина реки (водотока), км	Степень округления для продольных уклонов, ‰		
	менее 10	10-99	100 и более
До 200	0,05	0,5	5
Более 200	0,01	0,1	1

7.1.3 Извилистость реки. Для характеристики реки по степени извилистости (криволинейности) плановых очертаний её русла применяется показатель извилистости.

Общая извилистость определяется отношением длины реки к длине прямой линии, соединяющей крайние точки характеризуемой реки или ее участков (рисунок 7.5).

Гидрографическая извилистость - это извилистость русла реки в пределах долины, обусловленная определенным типом руслового

процесса. Она определяется отношением длины реки к длине ее долины (рисунок 7.5) [1].

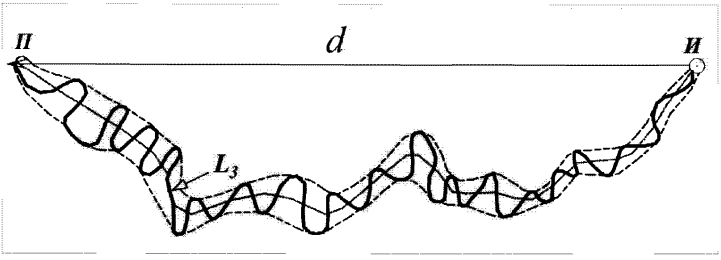

Рисунок 7.5 – К определению извилистости водотоков, расположенных на равнине

Примечание – *П* - пункт (устье), *И* - исток, $L_э$ - длина зоны извилистости; *d* - расстояние от истока до пункта (устья).

Для гидрологических целей определяется только коэффициент гидрографической извилистости. При определении коэффициента гидрографической извилистости по ЦК точность измерения зависит только от масштаба используемых материалов.

В зависимости от значений коэффициента извилистости реки подразделяются на прямые (1,00-1,02), изогнутые (1,03-1,08), слабоизвилистые (1,09-1,20), умеренно извилистые (1,21-1,35), извилистые (1,36-1,60) и сильно извилистые с коэффициентом извилистости более 1,61 (рисунок 7.6, таблица 7.2).

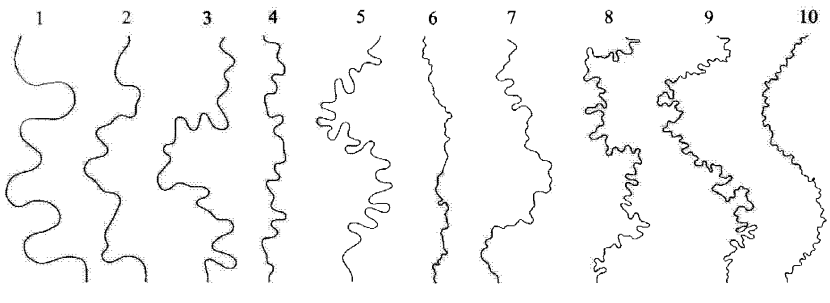

Рисунок 7.6 – Образцы извилистости рек

Таблица 7.2 – Значения коэффициента извилистости для рек (рисунок 7.6)

№ образца	Коэффициент извилистости	Степень извилистости реки
1	1.00	прямая
2	1.01	
3	1.02	
4	1.03	изогнутая
5	1.05	
6	1.08	
7	1.09-1.20	слабоизвилистая
8	1.21-1.35	умеренно извилистая
9	1.36-1.60	извилистая
10	1.61 и более	сильно извилистая

Значения коэффициента извилистости приводятся с точностью 0,01.

7.1.4 Профили реки

Для характеристики формы продольного профиля рек и особенностей распределения по длине частных уклонов приводится продольный профиль реки. По оси у откладываются абсолютные высоты характерных (в частности, переломных) и конечных точек профиля реки, а по оси х - длины участков реки от истока или устья до этих точек. Эти величины определяются одновременно с измерением длины реки.

Поперечные профили реки строятся по нормали к линии водотока и характеризуют форму и уклоны берегов.

В ГИС-программах профили формируют на основе цифровой модели рельефа местности вдоль задаваемых пользователем линий. Для построения продольного профиля в качестве такой линии используют линию реки.

7.2 Определение морфометрических характеристик водосборов

7.2.1 Определение морфометрических характеристик водосборов водных объектов желательно производить по тем же топографическим материалам, по которым определяются морфометрические характеристики водотоков.

7.2.2 Площадь водосбора. Перед измерением площадей

водосборов они ограничиваются на картах водораздельными линиями в соответствии с рекомендациями раздела 6 [1].

Измеренные значения площадей водосборов округляются до значений, указанных в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Правила округления значений площадей водосборов

Площадь водосбора, км^2	Степень округления значений, км^2
0-10	0,01
10-100	0,05
100-1 000	1
1 000-5 000	5
5 000-10 000	10
10 000 и более	50

7.2.3 Средняя высота водосбора. Средняя высота водосбора существенно влияет на сток, характер его распределения и на другие гидрологические характеристики.

Средняя высота водосбора вычисляется по формуле 4.4.

В ГИС-программах средняя высота вычисляется автоматически при построении цифровой модели водосбора и, наряду с минимальной и максимальной высотой водосбора, отображается в свойствах цифровой модели.

7.2.4 Средний уклон склонов водосбора. Уклоны склонов водосбора оказывают существенное влияние на максимальные расходы половодий и паводков, особенно в горных и предгорных районах [1].

В традиционных методах картометрических работ средний уклон склонов водосбора в ‰ определяется по формуле 4.6.

При одинаковом или равномерно изменяющемся интервале между горизонталями рекомендуется измерять длины горизонталей с разрядкой – каждую вторую, третью, четвёртую и т. п., но при этом необходимо, чтобы в число измеренных горизонталей вошли наиболее длинная и наиболее короткая на водосборе. В районах со слабо выраженным рельефом, с малым количеством горизонталей на картах необходимо использовать не только основные, но и половинные горизонтали с учётом соответствующей высоты сечения рельефа.

Вычисленные величины средних уклонов водосбора округляются до значений, указанных в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Правила округления значений уклонов

Уклон, ‰	Степень округления значений, ‰
Менее 10	0,5
10-50	1
50-100	2
100-200	5
Более 200	10

В ГИС-программах средний уклон склонов водосбора определяется из цифровой модели водосбора.

7.2.5 Густота речной сети водосбора. Под густотой речной сети понимается отношение суммы длин всех водотоков на водосборе к его площади [1].

Для определения этой характеристики измеряется суммарная длина всех водотоков: рек, ручьев, проток, каналов и канав в пределах площади водосбора, изображенных на топографической карте соответствующего масштаба сплошными или пунктирными линиями.

Густота речной сети определяется по формуле 4.7, вычисляется и записывается в таблицах с округлением до 0,01 км/км^2.

7.2.6 Густота русловой сети водосбора. Густота русловой сети водосбора определяется отношением суммарной длины речных долин, сухих русел оврагов, балок и логов к площади водосбора [1].

Под длиной речной долины понимается длина тальвега долины, измеряемая от вершины долины, находящейся, как правило, вблизи водораздельной линии, до устья или пункта наблюдений. Для рек, нижняя часть которых расположена на равнине, длина долины измеряется до места выхода реки на равнину, а далее до устья или пункта наблюдений измеряется русло реки. Положение линии тальвега балок, оврагов, логов определяется по горизонталям (рисунок 7.7).

Густота русловой сети в км/км^2 определяется по формуле 4.8. Вычисляется и записывается с округлением до 0,01 км/км^2.

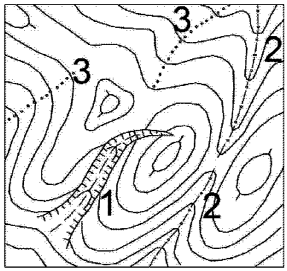

Рисунок 7.7 – К определению густоты русловой сети

Примечание – 1 - овраг, 2 - балка, 3 - лог.

7.3 Определение морфометрических характеристик водоёмов

7.3.1 Морфометрические характеристики водоёмов, связанные с уровнем воды в водоёме, определяются для периода межени для естественных водоёмов и для нормального подпорного уровня (НПУ) – для искусственных водоёмов [1].

Определение морфометрических характеристик водоёмов начинают с составления списка водоёмов, находящихся в пределах изучаемого района (водосбора). Список составляется в виде таблицы с подразделением водоёмов на естественные и искусственные, проточные и бессточные. Состав граф таблицы определяется количеством необходимых сведений. Обязательно должны быть предусмотрены графы: номер по списку, тип водоёма, название водоёма, географические координаты с точностью 5 м (с использованием бытовых навигаторов), площадь водоёма, площадь водосбора и указаны топографические материалы, использованные для определения морфометрических характеристик, (их масштаб и дата).

7.3.2 Уровень воды в водоёме. Определение уровня воды, т.е. высоты поверхности воды различных водоёмов, производится по отметкам высот (урезам воды) и горизонталям, изображенным на топографических картах [1].

Если у береговой линии водоёма на карте имеется отметка уреза воды, то она принимается за уровень воды и даётся в таблице с точностью, показанной на карте. За уровень воды водоёмов, не

имеющих отметки уреза воды, принимается значение ближайшей к водоёму основной горизонтали, уменьшенное на половину принятого на карте сечения горизонталей. Если ближайшей горизонталью является половинная горизонталь, то за уровень воды водоёма принимается значение этой горизонтали, уменьшенное на четверть сечения. Значения уровня воды, определённые по горизонталям, записываются с точностью, обеспечиваемой высотой сечения горизонталей (1/2 или 1/4 сечения).

7.3.3 Площадь водоёма и его водосбора. Площадь водоёма определяется путём измерения её на цифровой топографической карте или космическом снимке соответствующего масштаба в пределах, ограниченных береговой линией данного водоёма. Острова в площадь водоёмов не включаются. В площадь водосбора водоёма включаются площадь, ограниченная водораздельной линией, площадь самого водоёма с островами, а также площади замкнутых впадин, находящихся в пределах водосбора [1].

Данные о площади водоёмов и водосборов приводятся с точностью, обеспечиваемой способами измерения и масштабом используемых карт. Точность округления значений производится в соответствии и таблицей 7.3.

В ГИС-программах имеются специализированные инструменты измерения площади объектов. Для получения наиболее точного результата необходимо установить требуемые единицы измерений и спроецировать цифровую карту в рекомендованную проекцию (см. раздел 5).

7.3.4 Батиграфическая кривая (кривая площадей) водоёма. Координатами батиграфической кривой являются абсолютные высоты или глубины уровенных поверхностей водоёма и площади этих уровенных поверхностей (рисунок 7.8).

Определение значений батиграфической кривой производится по батиметрическим картам, по топографическим картам, на которых рельеф дна водоёмов изображён изобатами, горизонталями или отметками глубин, а также по результатам промера глубин эхолотом.

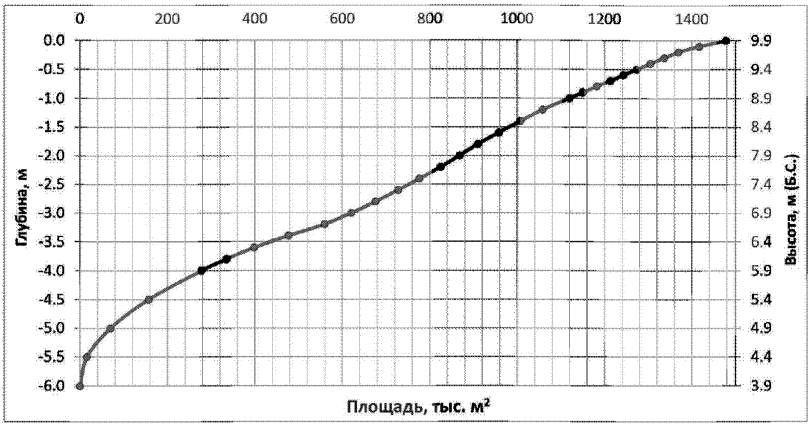

Рисунок 7.8 – Пример батиграфической кривой озера

7.3.5 Объёмная кривая водоёма. При оценке водных запасов водоёма большое значение имеет кривая изменения объёма с глубиной, представляющая собой график связи объёма водоема с уровнем воды в нём (рисунок 7.9).

Определение значений объемной кривой производится по тем же данным, что и батиграфической кривой.

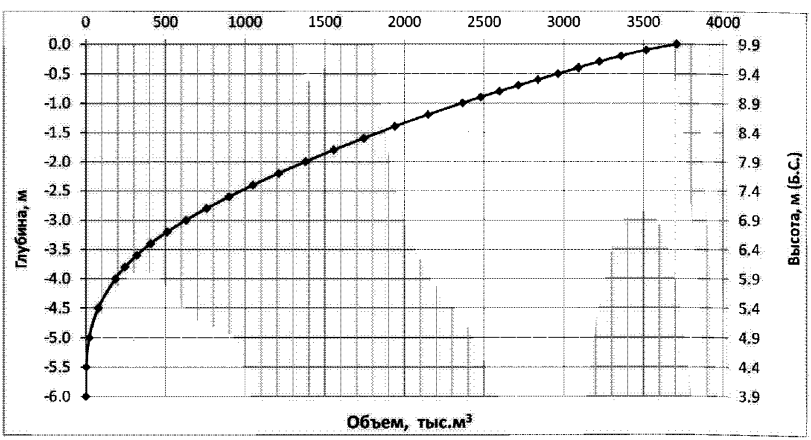

Рисунок 7.9 – Пример объёмной кривой озера

Координатами объёмной кривой являются абсолютные высоты или глубины уровенных поверхностей водоёма и объём воды в водоёме до каждой уровенной поверхности.

В традиционных методах вычислений [1] объём воды в м^3 или км^3 для любой глубинной зоны вычисляется по формуле

$$v_i = \frac{(F_i+F_{i+1})(H_i-H_{i+1})}{2} \quad (7.1)$$

или

$$v_i = \frac{(F_i+F_{i+1})(z_{i+1}-z_i)}{2}, \quad (7.2)$$

где F_i - площадь уровенной поверхности;

H_i - абсолютная высота уровенной поверхности;

$z_i=H_0-H_i$ - глубина уровенной поверхности.

Для последней зоны объём определяется по формуле

$$v_П = \frac{F_П(z_{макс}-z_П)}{3}, \quad (7.3)$$

где $z_{макс}$ - отметка максимальной глубины водоёма.

Общий объём воды в водоёме определяется как сумма частных объёмов глубинных зон

$$V_0 = \sum_{i=0}^{n} v_i, \quad i=1,2,3 \ldots n \quad (7.4)$$

Объём воды до выбранной уровенной поверхности водоёма определяется по формуле

$$V_i = v_i + v_{i+1} + \ldots + v_{n-1} + v_n \quad (7.5)$$

В ГИС-программах зависимость объёма и площади водоема от уровня воды в нем определяется по цифровой модели рельефа дна изучаемого водоёма.

7.3.6 Максимальная глубина водоёма. Отметка глубины, имеющая наибольшее значение, принимается за максимальную глубину водоёма.

Если на топографической карте изображение рельефа дна дано только изобатами, то определить максимальную глубину с достаточной точностью невозможно. В общем случае (если отсутствуют другие источники) по изобатам на карте рекомендуется определять

максимальную глубину приближенно по следующим условным правилам [1]:

- если изображение рельефа дна дано изобатами с постоянным сечением, то за максимальную глубину принимается наибольшее значение изобаты, увеличенное на 1/3 принятого на карте сечения изобат.
- если же на карте применена скользящая шкала изобат (2, 5, 10, 20 и т. п.), то за максимальную глубину водоёма принимается значение наибольшей изобаты, увеличенное в 1,5 раза, в случае, когда площадь, ограниченная этой изобатой, составляет более 0,1 площади водоёма, и в 1,2 раза, когда эта площадь менее 0,1 площади водоёма.

7.3.7 Средняя глубина водоёма. В традиционных методах [1] вычисление средней глубины водоема производится по формуле

$$\bar{z} = \frac{\sum_{i=0}^{n}(H_i - H_{i+1})(F_i + F_{i+1})}{2F_B} \quad (7.6)$$

Если сечение изобат на карте имеет постоянный интервал, то формула может быть записана в виде

$$\bar{z} = \frac{\Delta z \sum_{i=0}^{n}(F_i + F_{i+1})}{2F_B}, \quad (7.7)$$

где Δz - сечение изобат, м;

F_i - площади уровенных поверхностей (от 0 до n);

H_i - высоты (глубины) уровенных поверхностей (от 0 до n);

$F_в$ - площадь водоёма.

Если известен объём водоёма V_0, то среднюю глубину его можно определить по формуле

$$\bar{z} = \frac{V_0}{F_B} \quad (7.8)$$

Значения средней глубины следует округлить в зависимости от глубины водоёма в соответствии с рекомендациями таблицы 7.5.

В ГИС-программах средняя, минимальная и максимальная глубины водоёма получаются автоматически при построении цифровой модели рельефа дна водоёма.

Таблица 7.5 – Округление значений средней глубины водоёма

Средняя глубина водоёма, м	Степень округления значений, м
До 1,0	До 0,1
От 1 до 10	До 0,5
От 10 до 100	До 1
Более 100	До 5

7.3.8 Объём воды в водоёме. В традиционных методах определение объёма воды в водоёме производится по объёмной кривой (формула 7.2) либо по площади водоёма и средней или максимальной (для малых водоёмов) его глубине [1]. В первом случае объём вычисляется путём умножения площади водоёма $F_в$ на его среднюю глубину $\bar{z}$

$$V_0 = F_B \bar{z} \tag{7.9}$$

Во втором случае, когда известна не средняя глубина, а только максимальная $z_{макс}$, объём водоёма определяется приближенно по формуле объёма конуса

$$V_0 = \frac{F_B z_{макс}}{3} \tag{7.10}$$

7.3.9 Полный и полезный объем водохранилища. Полный объём водохранилища – это объём при нормальном подпорном уровне водохранилища (НПУ). Он определяется высотой плотины и задается в проекте водохранилища. Согласно [1] полный объём водохранилища устанавливается по координатам объёмной кривой либо по средней глубине и площади водоёма F_B при нормальном подпорном уровне (НПУ) по формуле

$$V_{плн} = F_B \bar{z} \tag{7.11}$$

Для определения полезного объёма водохранилища, представляющего собой разность между полным объёмом $V_{плн}$ и мёртвым объёмом водохранилища $V_м$, необходимо иметь: площадь водохранилища $F_в$, отметку высоты зеркала воды $H_{зв}$, отметку уровня мёртвого объёма $H_{мо}$ и площадь поверхности горизонтального сечения водохранилища на уровне мёртвого объёма $F_{мо}$.

Значения $F_в$ и $H_{зв}$ обычно отображаются на топографических картах.

Отметки уровня мёртвого объёма $H_{мо}$ водохранилища и площади поверхности горизонтального сечения водохранилища на этом уровне $F_{мо}$ берутся из проекта водохранилища.

Если известна лишь отметка уровня мёртвого объёма (УМО), необходимо на карте путём интерполяции между основными изобатами и отметками глубин провести изобату со значением, равным отметке УМО, а затем измерить оконтуренную ею площадь $F_{мо}$. Далее определить мёртвый объём водохранилища по формуле

$$V_м = F_{мо}\bar{z}' \quad (7.12)$$

где z' - средняя глубина водохранилища от УМО;

$F_{мо}$ - площадь поверхности водохранилища при УМО.

Полезный объём водохранилища вычисляется путём вычитания из полного объёма $V_{плн}$ мёртвого объёма $V_м$

$$V_{плз} = V_{плн} - V_м \quad (7.13)$$

7.3.10 Длина, средняя и максимальная ширина водоёма.

Длина водоёма представляет собой наибольшую протяжённость водоёма между противоположными берегами по его осевой линии [1]. Она определяется путём непосредственных измерений по топографической карте. Для этого в отдельном, рабочем слое на равном расстоянии от береговой линии проводится средняя, или осевая линия длины водоёма (рисунок 7.10).

Максимальная ширина водоёма – это наибольшее расстояние между противоположными берегами водоёма, измеряемое по направлению, перпендикулярному линии длины (рисунок 7.10).

Средняя ширина водоёма B вычисляется как отношение площади водоёма $F_в$ к его длине $L_в$

$$B = \frac{F_B}{L_B} \quad (7.14)$$

Результаты определений длины, средней и максимальной ширины водоёма округляются до 0,5 км при их значениях менее 10 км и до 1 км при значениях более 10 км [1].

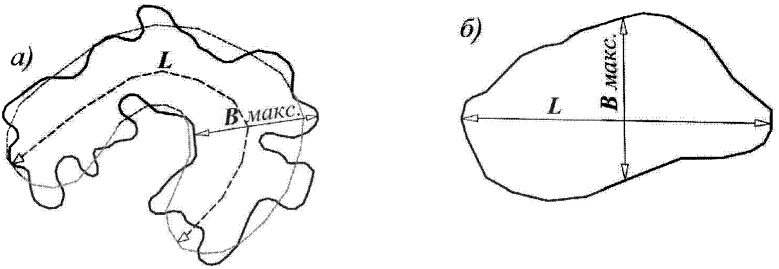

Рисунок 7.10 – К определению длины и максимальной ширины водоёма

7.4 Определение морфологических характеристик водосборов

7.4.1 Морфологические характеристики водосборов водных объектов используются для учёта влияния физико-географических особенностей строения подстилающей поверхности и почвогрунтов водосбора на водный режим рек и водоёмов [1].

К морфологическим характеристикам водосборов водных объектов, оказывающих наиболее существенное влияние на водный режим, относятся следующие: относительная заболоченность, лесистость, распаханность, закарстованность, озёрность общая и взвешенная, урбанизированность, оледененность поверхности водосбора, а также состав почвогрунтов и характеристика рельефа.

Для удобства определения площадей различных угодий по цифровым картам или космическим снимкам с использованием ГИС-программ необходимо создать отдельные рабочие слои, в которые помещаются контура площадей этих угодий. Расчет морфологических характеристик водосборов производится согласно разделу 4.1.6.

7.4.2 Озёрность водосбора подразделяется на общую (относительную) и средневзвешенную [1].

Под относительной озёрностью водосбора понимается отношение суммы площадей всех проточных и бессточных водоёмов (кроме внутриболотных озёр) на водосборе к общей площади водосбора данного водотока. Относительная озёрность выражается в процентах.

Средневзвешенная озёрность для непроточных озер определяется отношением суммы произведений площади непроточных водоёмов на площадь их водосборов к квадрату общей площади исследуемого водосбора и определяется по формуле 4.9.

Вычисленные значения озёрности записываются с округлением до 1%.

7.4.3 Заболоченность водосбора характеризует степень покрытия поверхности водосбора болотами различных типов. Количественно она выражается отношением суммарной площади, занятой болотами, к площади водосбора. Следовательно, для определения относительной заболоченности необходимо измерить суммарную площадь болот, расположенных в пределах исследуемого водосбора, контуры которых выделяются в соответствии с рекомендациями предыдущего раздела.

Гидрологическая роль болот и, в частности, влияние их на речной сток и испарение зависят от типов болот и расположения их на водосборе. Поэтому, кроме общей заболоченности водосбора, выделяются и измеряются площади верховых болот и низовых болот, контуры которых устанавливаются на топографических картах с использованием гидрогеологических карт. Величины заболоченности приводятся с округлением до 5% [1].

7.4.4 Под относительной лесистостью водосбора понимается величина, характеризующая степень покрытия поверхности водосбора древесной растительностью, выраженная в процентах от общей площади водосбора.

Для определения относительной лесистости необходимо измерить площади всех лесных угодий, границы которых установлены в соответствии с предыдущим разделом, суммировать их и определить процент от площади водосбора. Также в процентах от площади водосбора определяется степень покрытия водосбора заболоченным и суходольным лесом. При необходимости лесные угодья можно подразделить на типы (хвойные, лиственные, смешанные).

Величины относительной лесистости водосбора округляются до 5% [1].

7.4.5 Под относительной распаханностью водосбора понимается отношение суммарной площади пашен на водосборе к площади водосбора, выраженное в процентах, характеризующее степень нарушенности поверхности водосбора вспашкой, существенно влияющей на водный режим [1].

Определение границ распаханных площадей на топографических картах сопряжено с некоторыми трудностями, поскольку они не имеют специального условного знака. Поэтому перед измерениями необходимо четко установить границы распахиваемых угодий, руководствуясь рекомендациями предыдущего раздела.

Затем производится измерение площади всех контуров пашен, находится суммарная их площадь и определяется процент распаханности от площади водосбора.

При определении относительной распаханности рекомендуется использовать также данные учёта сельскохозяйственных органов, но при этом необходимо тщательно произвести распределение площади распаханных угодий по водосборам, так как они, как правило, приводятся по административным районам или хозяйствам. Следует также обращать внимание на характер сельскохозяйственных угодий, так как в этих материалах они не все являются пашнями (выгоны, сенокосы и т.п.).

Относительная распаханность водосборов приводится с округлением до 5%.

7.4.6 Состав почвогрунтов водосбора. Механический состав почвогрунтов, слагающих поверхность водосбора, оказывает существенное влияние на его водный режим. Для характеристики почвогрунтов определяются доли площади водосбора, выраженные в процентах, занятые следующими почвогрунтами: глинистыми, суглинистыми, супесчаными, песчаными и каменистыми (скелетными) [1].

Для выделения границ этих категорий грунтов используются государственные почвенные карты масштабов 1:500 000 или 1:1 000 000.

Для определения почвогрунтов поверхности водосбора необходимо выделить на почвенной карте основные категории почвогрунтов путём обобщения контуров более детальных

подразделений, показанных на почвенных картах и проведение контуров выделенных почвенных комплексов.

Точность определения этой характеристики водосбора зависит от точности содержания почвенных карт и их масштаба. Учитывая возможности современных способов почвенного картографирования территорий и масштабов почвенных карт, точность определения площади контуров отдельных типов почвогрунтов в пределах водосбора относительно невысокая. В конечном счёте эта характеристика может быть определена не точнее 5% для больших водосборов (более 1-2 тыс. км^2) и около 10% для относительно малых водосборов (менее 1-2 тыс. км^2) с увязкой по общей площади водосбора площадей всех категорий почвогрунтов. С такой же точностью приводятся эти данные в таблицах характеристик водных объектов со ссылкой в объяснениях к таблице на масштаб и год составления использованных почвенных карт.

7.4.7 Закарстованность водосбора.

На топографических картах карстовые районы изображаются недостаточно точно (нет границ распространения). На картах крупного масштаба специальным условным знаком изображаются мелкие карстовые воронки, не выражающиеся в масштабе карты, а крупные, которые выражаются в масштабе карты, изображаются с помощью горизонталей, как и другие формы рельефа, но в районах распространения этих форм даётся подпись "карст". Всё это позволяет выделить районы распространения карста лишь с известной степенью приближения, обеспечивающей определение закарстованности водосбора с точностью не выше 10-20% [1].

Для определения закарстованности водосборов рекомендуется использовать специальные гидрогеологические карты издания Министерства геологии и охраны недр СССР или более поздние Федерального агентства по недропользованию наиболее крупного масштаба, на которых изображаются районы распространения карста. Эти карты находятся в территориальных геологических управлениях и могут быть получены по запросу.

Необходимо установить на гидрогеологической карте границы площадей с карстовыми явлениями (к ним относятся районы интенсивного проявления карста на поверхности, участки проявления карста в гипсах, известняках и других карстующихся породах, а также

участки развития древнего карста), которые показываются на картах различными знаками.

Степень закарстованности водосбора выражается в процентах от общей площади.

Точность определения закарстованности водосбора зависит от масштаба гидрогеологических карт и точности изображения на них измеряемых объектов. Крупномасштабные карты обеспечивают определение этой характеристики с погрешностью 5%, а среднемасштабные - не точнее 10%.

7.4.8 Под урбанизированностью водосбора понимается отношение площади, занятой населёнными пунктами и объектами промышленного, сельскохозяйственного и дорожного строительства, к общей площади водосбора, выраженное в процентах [1].

Площади водосбора, занятые зонами безрельсовых дорог, определяются по длине дорог, измеряемой по топографическим картам, и ширине до канав, показываемой на картах непосредственно на условных знаках автострад, усовершенствованных шоссе и шоссе. Так как у автострад на картах показывается ширина одной полосы и количество полос, то общая ширина зоны автострады определяется умножением ширины одной полосы на количество полос. Урбанизированность водосборов вычисляется и округляется до 1%.

7.4.9 Под оледенённостью водосбора понимается покрытие площади водосбора многолетними ледниками, снежниками и наледями, выраженное в процентах. Для определения оледенённости водосбора требуется определить общую площадь указанных объектов и вычислить отношение её к площади водосбора в процентах [1].

Вычисленные величины оледенённости округляются до 1%.

8 Рекомендации по определению морфометрических характеристик водных объектов суши с использованием ГИС-технологии

8.1 Подготовка топографической основы к картометрическим работам

8.1.1 Подготовка картографических материалов.

При подготовке цифровой векторной карты к картометрическим работам очень важно её правильно расположить и организовать. Исходя из стоящей задачи и имеющихся топографических данных выбирают листы карт, масштаб, проекцию и систему координат соответствии с разделом 5.1.

Затем определяется информация, необходимая для составления карты, например, реки, озёра, болота, дороги, рельеф, населенные пункты, почвы, растительность и т.д. Из цифровых топографических данных выбираются соответствующие слои.

В соответствии с разделом 6.1 устанавливается местоположение границы исследуемого водосбора. Лишняя информация может быть удалена с цифровой карты.

8.1.2 Нанесение сети гидрологических постов и станций. Полученную цифровую карту водосбора водного объекта, при необходимости, можно дополнить данными, содержащими информацию о координатах пунктов гидрологических наблюдений, расположенных в пределах карты. Эти данные бывают необходимы для определения замыкающего створа на реке для нахождения конкретного водосборного бассейна к данному посту.

8.1.3 Построение цифровой модели местности.

По данным цифровой векторной карты строится триангуляционная векторная модель рельефа местности (TIN). С её помощью можно определить уклон склонов водосбора, площадь и объём водоёма, получить продольный и поперечные профили водотока. TIN - модель можно преобразовать в растровую (сеточную) модель местности. По сеточной модели местности можно также определить среднюю высоту и уклон склонов водосбора, площадь, объём и среднюю глубину водоёма, получить продольный и поперечные профили водотока.

При необходимости можно спроецировать любые линейные и площадные объекты на трёхмерную поверхность и пересчитать их длины и площади с учётом рельефа местности.

8.1.4 Подготовка космических снимков.

Географическая привязка космического снимка. Снимок, не имеющий географическую привязку, можно привязать вручную [25]. Если известно в какой системе координат находится снимок, что он не имеет искажений, а также координаты левого верхнего угла изображения, масштаб и разрешение, то можно вычислить, чему соответствует один пиксел на местности (пространственное разрешение) и создать необходимый файл привязки.

Для описания файла привязки достаточно 6-ти параметров (рисунок 8.1):

- A - масштаб растра по оси X; размер пиксела по оси X (например, в 1 единице растра 10 метров);
- B - масштаб растра по оси Y; (отрицательный размер пиксела по оси Y объясняется разницей между началом координат изображения и географической системы координат. В изображении начало находится в левом верхнем углу, в географической системе координат - в левом нижнем);
- C, D - параметры поворота. Если снимок наклонен на определенный угол или имеет линейные искажения, то необходимо подобрать коэффициенты C и D;
- E, F - параметры сдвига; X, Y координаты центра верхнего левого пиксела.

15.0000000000000	A
0.00000000000000	C
0.00000000000000	D
-25.000000000000	B
4712345.115	E
7854321.123	F

Рисунок 8.1 – Пример содержания типичного файла привязки

Имя файла привязки должно совпадать с именем растрового файла. Распознавание того или иного названия расширения зависит от конкретного ПО.

Существует три способа задать расширение файла привязки:

1) расширение составляется из трёх букв: первая соответствует первой букве расширения растрового файла, вторая - третьей букве расширения, третья - буква w. Примеры:

- файлу snimok.tif соответствует файл привязки snimok.tfw,
- файлу snimok.jpg соответствует файл привязки snimok.jgw,
- файлу snimok.gif будет соответствует файл привязки snimok.gfw;

2) используется расширение *.wld, например, файлу snimok.jpg будет соответствовать файл привязки snimok.wld;
3) к расширению прибавляется буква w, например, файлу snimok.jpg будет соответствовать файл привязки snimok.jpgw.

Можно привязать файл с помощью опорных точек. Опорные точки используются для трансформации, с помощью которой снимок будет сдвинут (трансформирован) в географически верное местоположение.

Желательно равномерно распределить точки по всему набору растровых данных (снимку), а не концентрировать их в одном месте. Добавление дополнительных точек не обязательно повышает точность преобразования. Обычно, наличие одной точки в каждом углу растра и нескольких посередине обеспечивает наилучший результат. После того, как было добавлено достаточное количество точек, можно привязать или трансформировать набор растровых данных, чтобы он соответствовал координатам целевых данных. Чтобы добиться максимального совпадения координат для каждой ячейки, можно выбрать вид трансформации.

Полиномиальная трансформация оптимизирована для соблюдения общей точности, но не гарантирует локальной точности. Полином нулевого порядка часто используется в ситуации, когда данные уже имеют пространственную привязку, но небольшой сдвиг может устранить систематическую ошибку. Для выполнения смещения данных полиномом нулевого порядка необходима только одна опорная точка. Рекомендуется сделать несколько связей, затем выбрать наиболее точную. Если снимок необходимо растянуть, повернуть или изменить размер, следует использовать трансформацию первого порядка. Для более сложного преобразования применяются трансформации второго или третьего порядка. Чем выше порядок трансформации, тем более сложные искажения могут быть скорректированы. Однако трансформация выше третьего порядка используется редко.

Трансформация методом сплайна (резиновый лист) рекомендуется для локальной трансформации, поскольку обеспечивает точное совмещение исходной и конечной опорных точек.

Эта трансформация удобна, если правильное размещение опорных точек имеет первостепенное значение. Добавление дополнительных опорных точек может увеличить общую точность сплайн трансформации. Для нее требуется как минимум 10 опорных точек.

Когда трансформация применена к опорным точкам, производится измерение ошибки – невязки. Эта ошибка является разницей между реальным и вычисленным положением опорной точки. Если невязка слишком велика, для её уменьшения можно удалить или добавить опорные точки. Трансформация позволяет создавать новый географически привязанный набор растровых данных [26].

8.1.5 Предварительная обработка снимков применяется для улучшения визуального восприятия изображения или для дальнейшего компьютерного анализа.

Сглаживающие или низкочастотные фильтры позволяют снять шум и убрать мелкие детали, что позволяет получать более однородные участки изображения, пригодные для дальнейшей обработки с целью выявления тех или иных объектов. Высокочастотные фильтры предназначены для выделения или подчеркивания перепадов значений пикселов, что используется при поиске на изображении границ объектов.

Может потребоваться преобразование геометрических характеристик изображений: монтаж (мозаика) изображений из отдельных снимков или их фрагментов; вырезание нужного фрагмента; трансформирование снимка в какую-либо картографическую проекцию и др.

Создание различных цветовых композиций позволяет получать цветные изображения в условных (ложных) и псевдоцветах, что является одним из способов обработки многомерных видеоданных. Примеры синтеза каналов, подходящих для целей дешифрирования водных объектов и определения площадей, занятых лесами, ледниками, болотами, сельскохозяйственными культурами, объектами инфраструктуры представлены в таблице 8.1 [11].

Таблица 8.1. – Примеры синтеза каналов данных Landsat

Комбинация каналов Landsat 5,7	Комбинация каналов Landsat 8	Интерпретация синтеза каналов
4,5,1	5,6,2	Чистая, глубокая вода выглядит тёмно синей (почти чёрной). Если в воде содержится большое количество взвесей или это мелководье, то в цвете будут преобладать более светлые синие оттенки.
4,5,3	5,6,4	Эта комбинация ближнего, среднего ИК-каналов и красного видимого канала позволяет чётко распознать границу между водой и сушей и подчеркнуть скрытые детали, плохо различаемые при использовании только каналов видимого диапазона. С большой точностью будут дешифрироваться водные объекты внутри суши. В целом, чем выше влажность почв, тем темнее она будет выглядеть, что обусловлено поглощением водой излучения ИК диапазона.
5,4,3	6,5,4	Здоровая растительность выглядит ярко зелёной, а почвы – розовато-лиловыми. Комбинация очень удобна для изучения растительного покрова и широко используется для анализа состояния лесных сообществ и сельскохозяйственных угодий.
7,5,3	7,6,4	Эта комбинация даёт изображение, близкое к естественным цветам. Растительность отображается в оттенках зелёного, урбанизированные территории выглядят белыми, зелёно-голубыми и малиновыми. Практически полное поглощение излучения в среднем ИК-диапазоне водой, снегом и льдом позволяет очень чётко выделять береговую линию и подчеркнуть водные объекты на снимке.

8.1.6 Для определения местоположения водного объекта и его границ используется дешифрирование — распознавание объектов на снимке путём сопоставления изображения с имеющимися эталонами и знаниями.

Эталонами могут быть: специально подготовленные снимки, тематические карты части территорий, результаты полевых работ, крупномасштабные карты. В результате сопоставления с эталонами находятся сходные признаки и объекту присваивается класс.

При компьютерном дешифрировании ДДЗ используют классификацию – тематическую обработку, которая позволяет производить автоматизированное разбиение снимков на классы объектов. При классификации с обучением, задача состоит в обнаружении на изображении объектов уже известных типов, что требует некоторых предварительных знаний об исследуемом участке земной поверхности. На снимке задаются эталонные участки, являющиеся типичными представителями выделяемых классов объектов.

В случае жёстких классификаторов, принимается строго определенное решение относительно принадлежности объектов снимка к некоторому классу. Мягкие классификаторы оценивают вероятность, с которой анализируемый элемент изображения может принадлежать всем рассматриваемым классам покрытий.

Важным этапом в процессе классификации является оценка точности полученных изображений, которая может выполняться как по данным полевых измерений, так и путём сравнения с соответствующими тематическими картами.

Дешифрирование водных объектов и определение местоположения границы исследуемого водосбора по космическим снимкам производится в соответствии с разделом 6.2.

8.2 Измерения средствами программы ArcGIS

Информация по работе с инструментами ArcGIS представлена в [25], [26], [27], [28].

8.2.1 Работа с цифровыми картами

8.2.1.1 Определение системы координат. В ArcGIS все данные вводятся в определённой системе координат. Инструменты ArcGIS дают возможность совмещать данные из различных источников и

систем координат, а также позволяют выполнять различные аналитические операции над ними.

Если данные имеют корректную систему координат, ArcGIS может автоматически интегрировать их "на лету" с другими данными.

Чтобы изменить систему координат набора данных используется инструмент *Проецировать.* Перед проведением морфометрических расчетов необходимо исследуемые топографические данные спроецировать в рекомендованную систему координат. В ArcGIS насчитывается свыше 4000 файлов проекций, а также имеется возможность создания пользовательской проекции.

Чтобы узнать, определена ли система координат источника данных, необходимо выбрать правой кнопкой слой на панели *Содержание (Contents)* > *Свойства (Properties)*, в результате откроется диалоговое окно *Свойства слоя*. Необходимо выбрать вкладку *Источник* и развернуть группу *Пространственная привязка*.

Для изменения системы координат карты на панели *Содержание* необходимо выбрать правой кнопкой карту и открыть диалоговое окно *Свойства карты (Map Properties)*. Далее, открыть вкладку *Система координат*.

Текущая система координат карты отображается в заголовке страницы свойств. Необходимо открыть ссылку «Сведения для просмотра информации о системе координат». Для поиска системы координат можно использовать фильтры и контекстный поиск. После выбора системы координат необходимо выделить её правой кнопкой, и появятся опции, позволяющие добавить её в список *Избранное.*

Чтобы установить такую же систему координат карты, как и у одного из слоёв на карте, необходимо открыть папку *Слои (Layers)* и раскрыть систему координат. После раскрытия системы координат будут видны все слои, в которых она применена. Это полезно, когда необходимо убедиться, что все слои карты находятся в одной системе координат.

Для установки такой же системы координат карты, как у слоя, не находящегося на карте, необходимо ввести *Импорт* и указать путь к источнику данных (или ранее сохраненному файлу *.prj), система координат которого должна использоваться. Можно добавить систему координат к списку *Избранное*, чтобы обращаться к ней снова [28].

8.2.1.2 Измерение длины водотока. Длина линейных объектов определяется следующими способами:

– определение длины отдельной линии (реки, горизонтали и др.) может быть осуществлено с помощью инструмента *Измерить (Measure) > Длина (Length)*. Если производится суммарное измерение нескольких объектов, то необходимо включить кнопку Σ;

– если цифровая карта создана в определенной проекции, то информация о длине линии (водотока) содержится в соответствующем поле атрибутивной таблицы (Length);

– метаданные цифровых топографических карт Российской Федерации содержат сведения по крупным и средним водотокам – их длину и ширину.

На рисунке 8.2 показано получение информации о длине ручья Витинской из атрибутивных данных и с помощью инструмента Измерить (Measure).

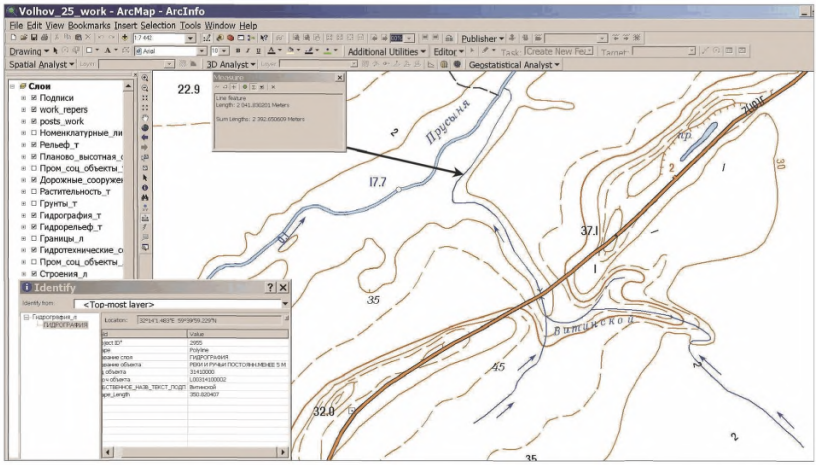

Рисунок 8.2 – Получение информации о длине водотока с цифровой топографической карты

8.2.1.3 Измерение площади водного объекта. Площадь полигональных объектов определяется следующими способами:

– измерение площади отдельного полигона (водоем, водосбор, болото, ледник и др.) можно осуществить с помощью инструмента *Измерить (Measure) >Площадь (Area)*. Если необходимо суммарно измерить несколько объектов, то требуется включить кнопку Σ;

– если цифровая карта создана в определённой проекции, то

информация о площади водного объекта уже содержится в соответствующем поле атрибутивной таблицы (Area);

– метаданные цифровых топографических карт Российской Федерации содержат сведения по крупным и средним водоёмам – их площадь и периметр.

На рисунке 8.3 показано определение площади озера из атрибутивных данных.

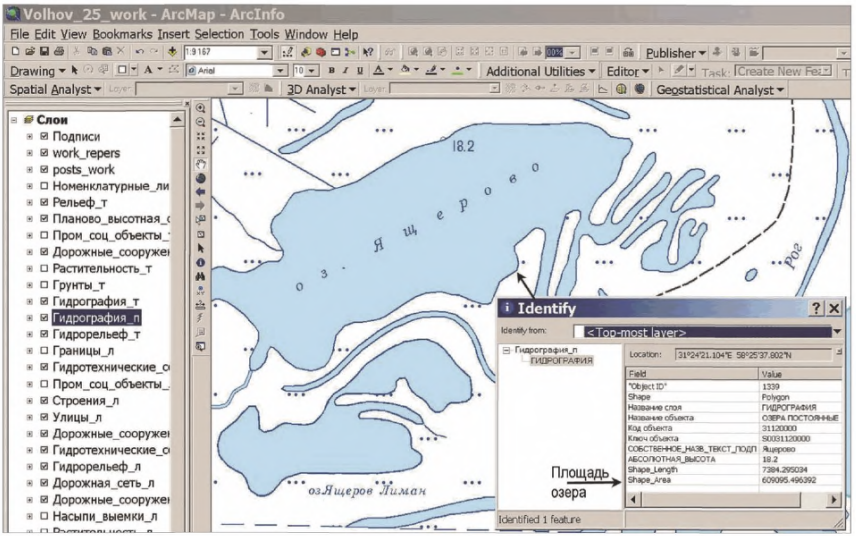

Рисунок 8.3 – Информация о водоеме, полученная из атрибутивных данных цифровой карты

8.2.2 Работа с космическими снимками

8.2.2.1 Организация растровых данных.

ПО ArcGIS поддерживает более 100 форматов растровых данных. В том числе: сеточные модели данных, аэрофото и космические снимки [25]. Можно задать, какие продукты должен распознавать ArcGIS: *Настройка >(Customize) Опции ArcMap (ArcMapOptions) > Растр (Raster) > Форматы файлов (FileFormats)*. Отключение неиспользуемых продуктов может повысить производительность ArcGIS.

В ArcGIS применяются три способа организации, хранения и управления растровыми данными: набор растровых данных, набор данных мозаики, каталог растров.

Набор растровых данных – любой поддерживаемый растровый формат, организованный в один или несколько каналов. Несколько последовательных наборов растровых данных могут быть соединены вместе (построена мозаика изображений) в единый, большой, непрерывный набор растровых данных. На основе наборов растровых данных строятся данные мозаики и каталоги растров.

Набор данных мозаики – совокупность наборов растровых данных (изображений), хранящаяся как каталог и отображаемая как единое мозаичное изображение или отдельные изображения.

Снимки в наборе данных мозаики могут полностью или частично перекрываться, но быть получены в разные даты. Набор данных мозаики – это идеальный набор данных для хранения временных данных. Можно запросить набор данных для отображения мозаики в соответствии с атрибутом даты или времени [25].

Каталогом растров является коллекция наборов растровых данных, определенная в формате таблицы, в которой каждая строка указывает на отдельный набор растровых данных, включенный в каталог. Каталог растров обычно используется для отображения соседних, полностью или частично накладывающихся снимков, без построения одного большого мозаичного набора растровых данных.

Набор данных мозаики имеет больше возможностей и функций. Поэтому, рекомендуется управлять растровыми данными, используя набор данных мозаики, вместо каталога растров.

Тип растра идентифицирует метаданные, например, пространственную привязку, дату приобретения, тип сенсора и длину волн каналов, а также формат растра. Добавляя растровые данные в соответствии с типом растра, соответствующие метаданные считываются и используются для определения обработки, которую нужно применить.

Например, при добавлении снимка с космического аппарата WorldView-2 данные можно определить по файлу *.imd. Файл *.imd содержит метаданные о наборе растровых данных и может указывать на один или несколько файлов *.tif [25]

8.2.2.2 Добавление данных на карту. Используя проводник Windows, необходимо найти папку, содержащую космический снимок, (например, снимка WorldView-2). Эта папка обычно содержит стандартную поставку данных ДЗЗ с космического аппарата WorldView-2 (комплект: мультиспектральные (2 метра) +

панхроматический (50 см) каналы). Папка содержит мультиспектральное изображение, разбитое на части (тайлы). Файл с расширением *.imd содержит описание к поставленному кадру: тип сенсора (satId), дата съёмки (firstLineTime), номер кадра (CatId) и большое количество других параметров. Папка *_PAN содержит аналогичный набор файлов, но для панхроматического изображения.

Другие операторы формируют данные с другой структурой папок, но обычно с тем же набором информации.

Для папки с мультиспектральными изображениями и папки с панхроматическим изображениями для файла с расширением *.imd значок содержит спутник по диагонали. Это означает, что ArcGIS провёл чтение метаданных растрового изображения (установил тип растра) и добавил для пользователей растровый продукт. Растровый продукт объединяет все тайлы, уточняет наборы спектральных каналов и создает Pan- Sharpening изображение.

Можно добавить в таблицу содержания отдельно мультиспектральное изображение (Multispectral) из растрового продукта и результат слияния (Pansharpen) [25].

8.2.2.3 Построение пирамидных слоёв и статистики. Пирамидные слои используются для повышения производительности. Они являются упрощенной версией исходного набора растровых данных.

Пирамиды могут ускорить отображение растровых данных, показывая только необходимые для отображения данные определённого разрешения. Программа автоматически выбирает наиболее подходящий уровень пирамидных слоёв в зависимости от масштаба отображения данных в окне пользователя. При отсутствии пирамидных слоёв весь набор растровых данных необходимо считать с диска и построить пирамидные слои, чтобы уменьшить его размер. Это делается только один раз.

Пирамидные слои находятся в одном файле, который обычно сохраняется с исходными растрами. Имеется два типа файлов пирамидных слоёв: обзор (*.ovr) и набор данных с пониженным разрешением (*.rrd).

Существуют три метода пересчёта пирамидных слоёв: ближайшая окрестность, билинейная интерполяция, кубическая свертка.

Метод «ближайшая окрестность» используется по умолчанию Однако, этот метод не рекомендуется использовать для данных ДЗЗ.

Билинейная интерполяция и кубическая свертка используются для спутниковых снимков. При этом, билинейная интерполяция работает быстрее, а кубическая свертка дает более резкое изображение.

Существует три способа построения пирамидных слоёв:

– при добавлении набора растровых данных программа автоматически предлагает построить пирамидные слои *(BuildPyramids)*;
– построение пирамидных слоев из приложения *Каталог*;
– использование инструментов геообработки.

8.2.2.4 Инструменты обработки растровых данных в ArcGIS. Существует несколько способов вызова инструментов для обработки растровых изображений в ArcGIS:

– окно Анализ изображений (*Image Analysis*);
– инструменты геообработки приложения Spatial Analyst;
– инструменты геообработки из группы *Управление данными*;
– инструменты панели *Пространственная привязка.*

Окно *Анализ изображений (Image Analysis)* поддерживает анализ растровых данных в приложении *ArcMap* с коллекцией часто используемых возможностей, процессов отображения и инструментов измерения.

Чтобы развернуть окно *Анализ изображений (ImageAnalysis*), необходимо открыть пункт меню *Окна (Windows)* > *Анализ изображений (ImageAnalysis)* (рисунок 8.4).

Есть несколько компонентов данного окна — список слоёв, *Опции (Options),* панель *Отображение (Display),* панель *Обработка (Processing)* и панель *Измерение (Mensuration).*

Список слоёв – это отражение всех растровых слоёв в активном фрейме данных, включая слой изображения набора данных мозаики, сервис изображений. Слой каталога растров не видим и не может использоваться в окне *Анализ изображений (Image Analysis).* Список слоёв позволяет получить доступ к диалоговому окну свойств слоя и удалить слои.

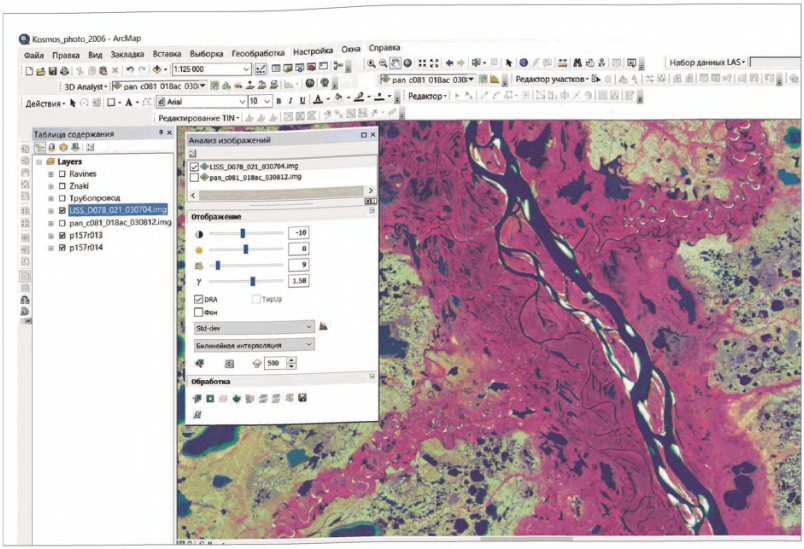

Рисунок 8.4 – Вызов функции Анализ изображений (Image Analysis)

На панели *Отображение (Display)* содержатся инструменты, используемые для улучшения визуализации данных. Они включают: регуляторы контраста, яркости, гаммы и прозрачности; опцию для использования динамичной настройки диапазонов *(DRA)*; инструмент *«Шторка» (Swipe Layer)* и *Мерцающий слой (Flicker Layer)* для сравнения двух слоёв перекрывающихся данных.

Панель *Обработка (Processing)* позволяет модифицировать данные с помощью наиболее используемых способов обработки изображений. Эти способы включают: вырезание, создание маски, создание мозаики и др. При использовании инструментов данной панели новые временные слои добавляются в список слоёв и таблицу содержания. Можно сохранить полученный файл слоя.

Панель *Измерение (Mensuration)* содержит инструменты для измерения расстояния, угла, высоты, периметра и площади на изображении (наборе растровых данных или наборе данных мозаики) с использованием информации сенсора. Можно использовать в качестве подложки ЦМР для определения морфометрических характеристик водных объектов по поверхности [25].

8.2.2.5 Улучшение визуального качества снимка. Панель *Анализ изображений* содержит инструменты, используемые для улучшения внешнего вида изображений.

Метод *Растяжка (Stretched)* отображает непрерывные значения ячеек растра по всей цветовой шкале;

Растяжка *(Minimum-Maximum)* применяется к плотно сгруппированным значениям пикселей. Растяжка по среднеквадратичному отклонению часто используется для осветления темных наборов растровых данных;

Гамма рассматривается как степень контраста между промежуточными значениями серого в наборе растровых данных. При этом не затрагиваются значения чёрного и белого в наборе данных, используются только промежуточные значения. Используя коррекцию гаммы, можно управлять общей яркостью набора растровых данных. Значения гаммы меньше 1 приводят к уменьшению контраста в тёмных областях и увеличению контраста в светлых областях. Это затемняет изображение, но без насыщения тёмных или светлых областей изображения. И обратно, значения гаммы больше 1 приводят к увеличению контраста в тёмных областях, таких как тени от деревьев, помогают выделить детали в областях с низкими высотами при работе с данными рельефа. Изменение гаммы влияет также на соотношение между красным, зелёным и синим.

Для улучшения разрешения цветного изображения производят слияние мультиспектральных каналов с панхроматическим (Pan-Sharpening). В результате получается многоканальный набор растровых данных с разрешением панхроматического растра в областях их наложения (рисунок 8.5).



Рисунок 8.5 –Улучшение снимка путём слияния цветного и панхроматического изображения

Чтобы применить технику слияния с панхроматическим каналом к многоканальному набору растровых данных, необходимо выбрать функцию *Слияние (Pan-sharpen)* в окне *Анализ изображений (Image Analysis)*. Это позволит выполнить слияние «на лету» и далее сохранить результаты в набор растровых данных.

Чтобы создать набор растровых данных, как результат слияния с панхроматическим каналом необходимо использовать инструмент *Создать набор растровых данных с панхроматической настройкой (Create Pan-Sharpened RasterDataset)* [25].

Pan-sharpening снимка:

1) используя приложение *Каталог*, необходимо в папке снимка открыть папки с мультиспектральными и панхроматическим каналами;
2) добавить на карту мультиспектральное и панхроматическое изображение;
3) в списке слоёв окна *Анализ изображений* необходимо выделить слой Panchromatic и далее приблизиться к исходному разрешению чёрно-белого изображения, используя кнопку *Приблизить к разрешению растра*;
4) далее необходимо выполнить *Pan-Sharpening*. В списке слоев окна *Анализ изображений* выделить панхроматическое и мультиспектральное изображения и далее в разделе *Обработка* выбрать *Слияние*. Новое изображение, созданное «на лету», добавится в проект;
5) можно изменить способ слияния. Вверху окна *Анализ изображений* открыть окно *Опции*. Далее перейти на вкладку *Слияние* и выбрать другой метод, например, *Gram-Schmidt* и необходимый тип сенсора. После этого необходимо выполнить *Pan-Sharpening* ещё раз;
6) можно сохранить на диск результат слияния. Для этого необходимо воспользоваться функцией *Экспорт* в окне *Анализ изображений*, или использовать инструмент геообработки: открыть приложение *ArcToolbox*, выбрать набор инструментов *Управление данными* > *Растр* > *Обработка растра* > Создать набор растровых данных с панхроматическим слиянием > заполнить необходимые поля, используя метод Esri. Далее необходимо запустить инструмент геообработки.

Ортотрансформирование снимков. Нетрансформированное изображение всегда будет иметь искажения, определяемые как конструкцией камеры, так и расположением спутника относительно поверхности Земли. В результате ортотрансформации снимка искажения удаляются геометрически.

Ортотрансформирование растровых данных в ArcGIS можно выполнить двумя способами: используя окно *Анализ изображений* или используя инструменты геообработки [25].

8.2.2.6 Пространственная привязка набора растровых данных. Для пространственной привязки непривязанных или некорректно-привязанных снимков необходимо использовать опорные точки (рисунок 8.6).

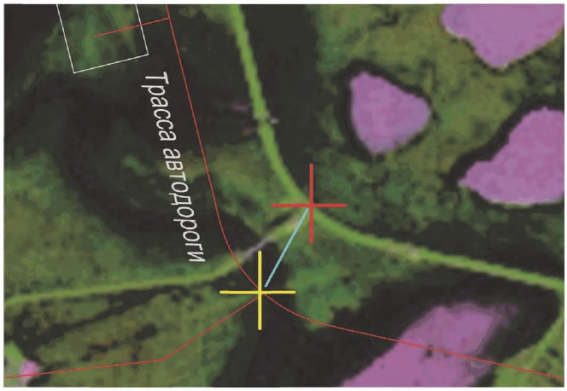

Рисунок 8.6 – Использование опорных точек для привязки файла

Для загрузки снимка в ArcGIS необходимо ввести: *Файл>Добавить данные и слои (File>Add Data)*, не создавая пирамидальные слои. Затем включить панель пространственной привязки *Вид>Панели инструментов> Пространственная привязка (View > Toolbars > Georeferencing)*. При нажатии функции *Таблица* - появится пустая таблица. Если убрать галочку в окне *"Автонастройка"*, карта не будет трансформироваться после каждой новой точки привязки.

С помощью инструмента привязки, нажимая на пересечение координатных линий на снимке (или любой другой точке с известными координатами) и вторично нажимая правой кнопкой, выбрав пункт "*Ввести координаты*", ввести правильные координаты для точки.

Координаты должны вводиться в формате DD.DDDDD (десятичные градусы), если координаты представлены в другом формате, например, DD MM SS, необходимо перевести их в нужный формат. Этот шаг требуется повторить для большинства точек с известными координатами на карте.

После расстановки необходимого количества точек, в таблице необходимо включить функцию "Автонастройка". При этом карта трансформируется в соответствии с заданными привязками. Если расставлено больше 6-ти точек, то можно выбрать полиномиальную интерполяцию 2-го порядка. Если трансформация приводит к очевидным искажениям, необходимо просмотреть в таблице невязки точек на предмет большой среднеквадратичной ошибки и удалить их, пока результат не станет удовлетворительным (рисунок 8.7). Внесённые в таблицу координаты привязки рекомендуется сохранить.

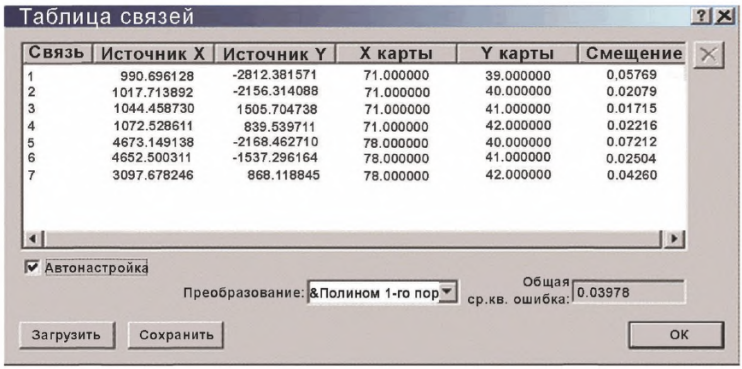

Рисунок 8.7 – Пространственная привязка опорных точек

Для проверки правильности привязки можно загрузить цифровую векторную карту (в той же системе координат).

Для дополнительной коррекции привязанного снимка можно добавить дополнительные точки привязки. Для улучшения привязки, можно найти связи опорных точек с большими невязками и удалить их, оставив "хорошие" связи.

Для сохранения результата необходимо в модуле привязки выбрать *Пространственная привязка* > *Трансформировать* и указать путь и название файла. В итоге получится новый файл, привязанный к используемой системе координат [28].

ArcGIS не требует обязательного преобразования снимка для

отображения его вместе с другими пространственными данными. Однако, это следует сделать, если необходимо анализировать его или использовать в других программах, которые не распознают пространственную привязку, хранящуюся в отдельном файле [25].

8.2.2.7 Классификация изображений

В группе инструментов *Многомерный анализ (Multivariate)* приложения *Spatial Analyst* содержится панель инструментов *Классификация изображений (Image Classification)* (рисунок 8.8).

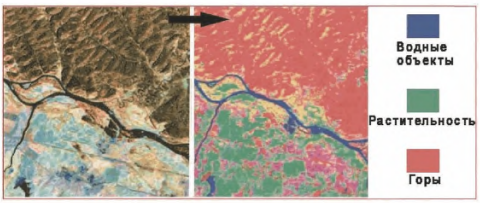

Рисунок 8.8 – Классификация изображений

В классификации изображений с обучением используются спектральные сигнатуры, полученные из обучающих выборок. С помощью панели инструментов *Классификация изображений (Image Classification)* можно создать обучающие выборки, соответствующие классам, которые нужно извлечь.

Для классификации изображений необходимо:

1) добавить растровый продукт на карту;
2) открыть панель *Классификация изображений (Настройка > Панель инструментов)*;
3) выбрать необходимый слой изображения в списке *Слой*;
4) выбрать один из инструментов рисования на панели *Классификация изображений*. В наличии три доступных инструмента для рисования: полигон, окружность и прямоугольник;
5) в приложении ArcMap необходимо определить площадь, которая принадлежит к известному классу, например, водная поверхность, городская застройка, лес. По окончании рисования в *Менеджере обучающих примеров* будет создан новый класс, которому будут присвоены имя, значение и цвет. Можно изменить имя и цвет;
6) п. 5 можно повторить несколько раз для каждого из классов и затем объединить обучающие примеры для разных частей снимка;

7) для проверки достоверности классов, образованных на основании обучающих выборок, необходимо проанализировать их спектральные характеристики. Для этого используются: окно *Гистограммы*, окно *Диаграммы рассеивания* или окно *Статистика*;
8) сохранить созданные и проанализированные классы можно, используя правую кнопку, - *Менеджер обучающих примеров* > *Создать файл сигнатур;*
9) выполнить классификацию по методу максимального правдоподобия с параметрами, заданными по умолчанию. При этом рассчитывается вероятность, с которой данный пиксел принадлежит к какому-либо классу;
10) открыть окно *Анализ изображений* и выделить исходное изображение. В разделе *Анализ изображений* выбрать метод расчёта и запустить его. В таблице содержания появится новая тематическая карта.

Процесс классификации без обучения находит спектральные классы в многоканальном изображении автоматически. Для выполнения классификации без обучения на панели инструментов *Классификация изображений (Image Classification)* имеются инструменты для создания классов и анализа их качества.

В выходных данных могут присутствовать неправильно классифицированные небольшие области. Это придаёт изображению крапчатый вид. Здесь необходимо применить инструменты постклассификационной обработки приложения *Spatial Analyst* [25].

8.2.2.8 Производство измерений. В окне *Анализ изображений (Image Analysis)* содержится набор инструментов для проведения измерений по растровому изображению (снимку).

Измерение расстояний (длины) и площади. Инструмент *Расстояние (Distance)* определяет расстояние между двумя и более точками. Инструмент *Площадь (Area)* рассчитывает размер и периметр участка. Если включена опция *Измерение в 3D*, для более точного расчёта используется ЦМР.

Инструмент *Местоположение точки (Point Location)* определяет координаты точки.

Инструмент *Положение центроида (Centroid Location)* определяет местоположение геометрического центра объекта. Если включена опция *Измерение в 3D*, для более точного расчета высоты

необходимо подключить ЦМР в окне *Анализ изображения*, вместе со слоем, в котором выполняется измерение.

8.2.2.9 Сервисы изображений Landsat. На базе изображений Landsat космическим агентством NASA и USGS был создан продукт Global Land Survey (GLS) – архивная коллекция лучших изображений Landsat практически на весь земной шар. Глобальные покрытия были созданы из снимков, полученных в 70-х годах, в 90-х годах и далее до 2011 года (таблица 8.2).

Таблица 8.2 – Коллекция архивных изображений Landsat

Съёмка	Аппарат	Даты снимков	Размер архива
GLS1975	Landsat 1-3 (MSS) Landsat 4-5 (MSS)	1072-1983 1982-1987	250 GS
GLS199G	Landsat 4-5 (ТУ)	1987-1997	975 GB
GLS20G0	Landsat 7 ETM+-	1999-2003	2.18 TB
GL52005	Landsat 5 (ТУ) Landsat 7 ETM+ EQ-1ALI	2003 - 2008	1.64 TB
GLS2010	Landsat 5 (ТУ) Landsat 7 ETM+	2008 - 2011	-

Коллекция архивных изображений Landsat – это полноценные снимки со спектральной информацией, что позволяет проводить тематическую обработку. Коллекция доступна из ArcGIS Online [25].

8.2.3 Инструменты приложения 3D Analyst

8.2.3.1 Дополнительный модуль ArcGIS *3D Analyst* обладает широким диапазоном возможностей пространственного моделирования и анализа. Можно создавать, отображать на карте и анализировать растровые данные; осуществлять полноценный перевод данных из растрового вида в векторный и наоборот; получать новые данные на основе существующих; обрабатывать информацию из нескольких слоев данных; а также совмещать растровые и векторные данные.

8.2.3.2 Создание, редактирование и конвертирование TIN-поверхности. К инструментам создания поверхности нерегулярной триангуляционной сети (TIN) относятся *Создать TIN (Create TIN)* и *Редактировать TIN (Edit TIN)*, которые используются для исходного создания TIN для определённой области и для добавления векторных объектов к TIN-модели, а также *Растр в TIN (Raster To TIN)*, который

конвертирует растровую (сеточную) модель поверхности в TIN-модель.

На рисунке 8.9 приводится пример создания TIN - поверхности из точечных, линейных и полигональных объектов. Значения высот рельефа дна озера Нерецкое получено из отметок глубин точек промера, изобат/горизонталей, линии уреза озера.

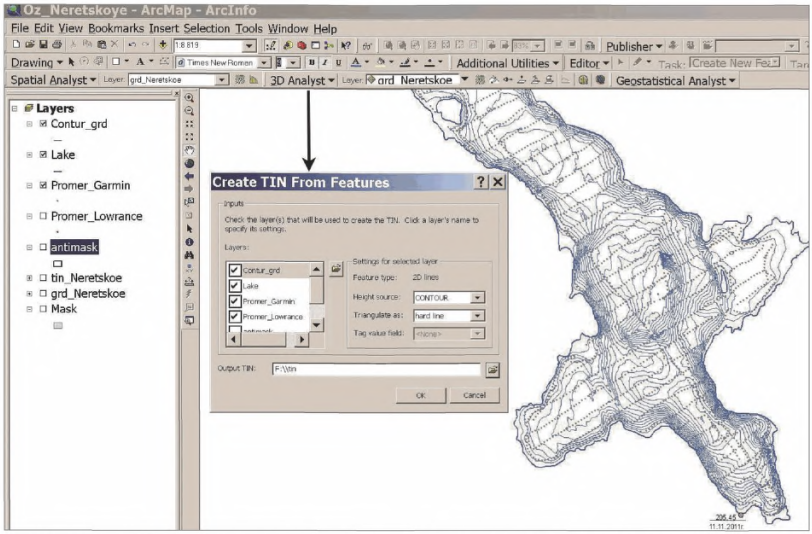

Рисунок 8.9 – Процесс создания TIN-модели рельефа дна озера из векторных данных цифровой карты

Полученная TIN-модель рельефа дна озера Нерецкое представлена на рисунке 8.10.

Конвертирование TIN-поверхности в растровую (сеточную) поверхность *Топо в растр (Topo to Raster)* является специализированным инструментом, который предназначен для создания гидрологически корректных растровых поверхностей (матриц высот) на основании векторных данных компонентов рельефа, таких как отметки высот и глубин, горизонтали, изобаты, линии водотоков, полигоны озёр и водохранилищ, точки локальных понижений и полигонов границ изучаемых водосборов.

8.2.3.3 Средняя глубина водоема определяется в свойствах полученной поверхности рельефа дна водоема. Там же получаем информацию о максимальной глубине водоема. Для этого необходимо

выделить курсором поверхность и, нажав правую кнопку мыши, выбрать *Свойства (Properties)* в раскрывшемся меню (рисунок 8.11).

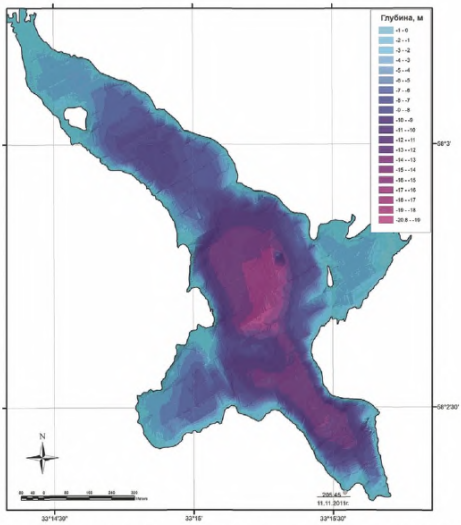

Рисунок 8.10 – Триангуляционная модель рельефа дна озера Нерецкое

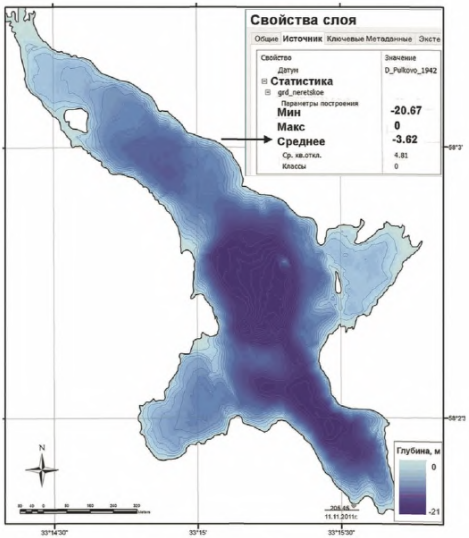

Рисунок 8.11 – Определение средней глубины по сеточной модели Нерецкого озера

8.2.3.4 Средняя высота водосбора определяется аналогично средней глубине. Для этого необходимо выделить курсором поверхность и, нажав правую кнопку мыши, выбрать *Свойства (Properties)* в раскрывшемся меню (рисунок 8.12).

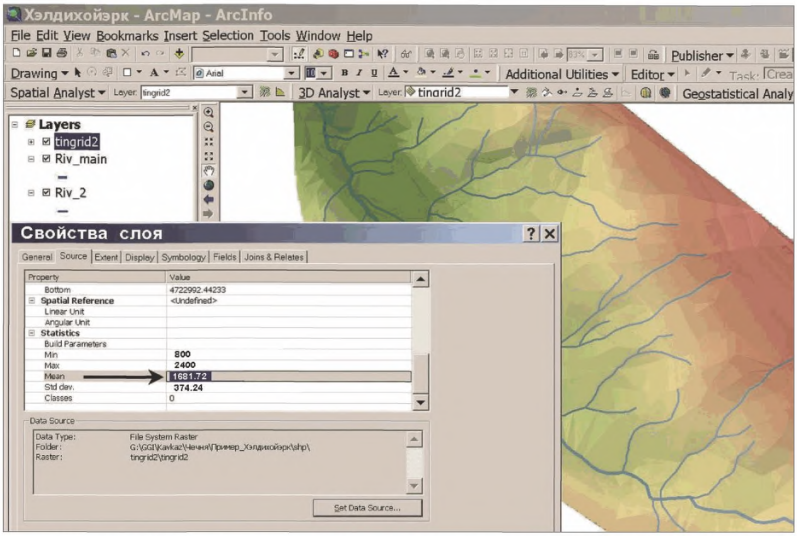

Рисунок 8.12 – Определение средней высоты водосбора реки Хэлдихойэрк

В свойствах поверхности также можно получить информацию о минимальной и максимальной высоте водосбора.

8.2.3.5 Средний уклон водосбора. Функция *«Уклон (Slope)»* модуля ArcGIS 3D Analyst принимает входной растр поверхности (матрицу высот) и вычисляет выходной растр, содержащий уклон в каждой ячейке. Чем ниже значение уклона, тем более плоской является земная поверхность; чем выше значение уклона, тем более крутые склоны расположены на поверхности. Выходной растр уклонов может вычисляться в программе в процентах или градусах уклона.

Инструмент *Уклон (Slope)* чаще всего работает с набором данных высот, как показано на рисунке 8.13. Более крутые уклоны заштрихованы красным на выходном растре уклона.

Основные параметры инструмента *Уклон* представлены в таблице 8.3.

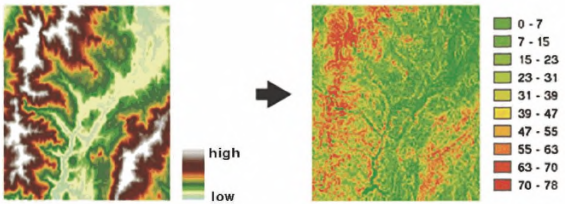

Рисунок 8.13 – Входной растр высот (слева) и выходной растр уклона (справа)

Таблица 8.3 – Параметры инструмента *Уклон*

Параметр	Информация
in_raster	Входной растр поверхности (модель рельефа).
Output measurement (доп.)	Единицы измерения (градусы или проценты) выходных данных.
z_factor (доп.)	Если координаты x, y и z-значения приведены в одной и той же системе координат, коэффициент z = 1 (по умолчанию). Если они отличаются, то для z должно быть задано соответствующее значение
out_raster	Выходной растр уклона.

Для получения уклона выбирается TIN-поверхность водосбора, преобразуется в сеточную поверхность *TIN to Raster,* далее выбирается функция *Уклон (Slope*), размер ячейки для поверхности уклонов и путь для записи результирующей поверхности.

Из свойств полученной поверхности уклонов может быть определен средний уклон водосбора нажатием правой кнопки мыши.

8.2.3.6 Поперечные и продольные профили водных объектов строятся на основе созданной цифровой модели рельефа местности. Они формируются вдоль задаваемых пользователем линий. В качестве такой линии можно использовать среднюю линию реки, фарватер (продольные профили) или линии, перпендикулярные берегу (поперечные профили).

На рисунке 8.14 показано построение поперечного профиля для Волховского водохранилища с учётом водоохраной зоны (200 м от НПУ). На рисунке 8.15 показано построение фрагмента продольного профиля по линии фарватера.

Данные профиля можно экспортировать в текстовый формат *.txt, а затем передать в другую программу для обработки и более

детальной прорисовки профиля, например, в EXCEL или в CREDO. На рисунке 8.16 показан фрагмент продольного профиля Волховского водохранилища, обработанный в программе CREDO Морфоствор.

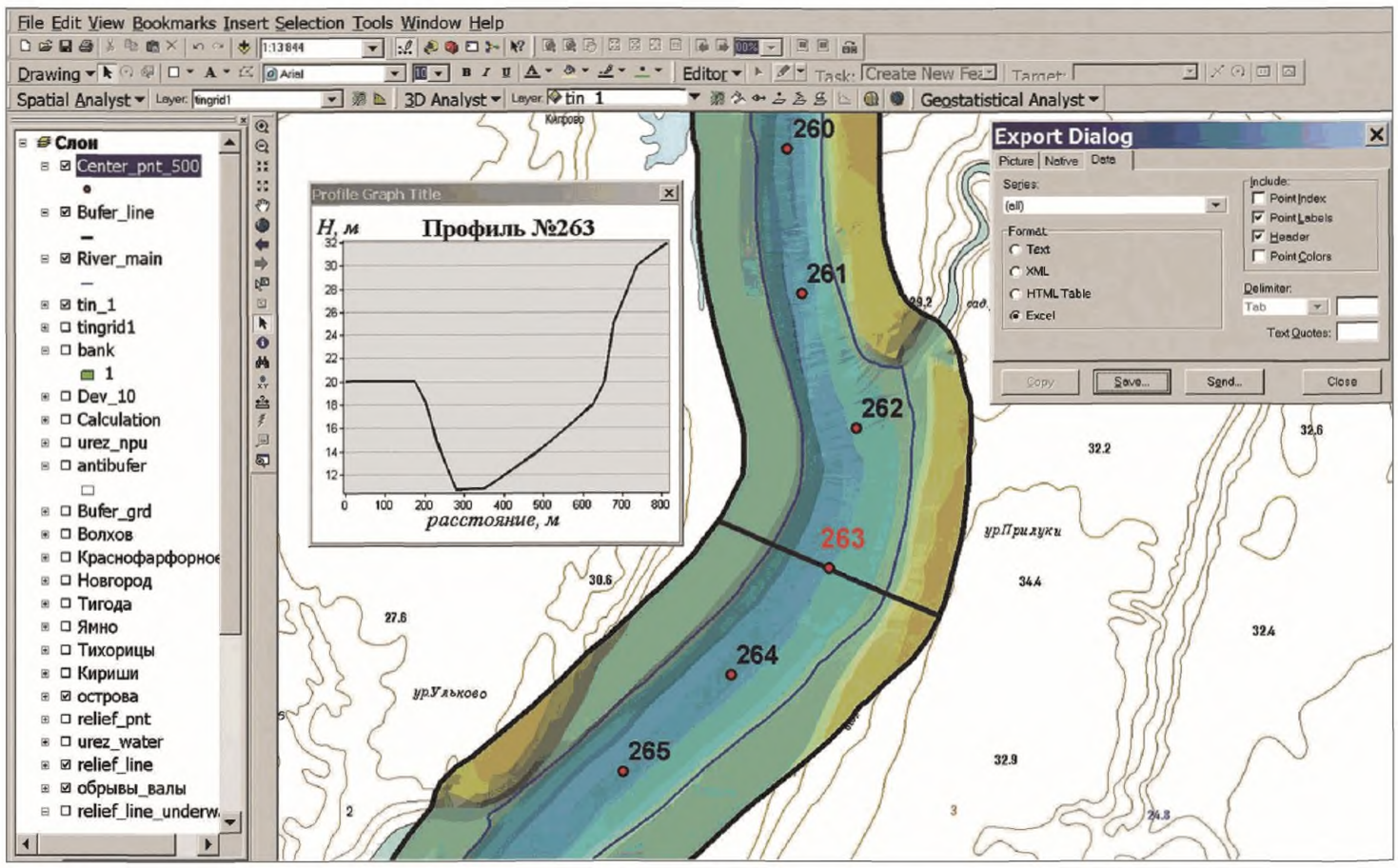

Рисунок 8.14 – Построение поперечного профиля водохранилища

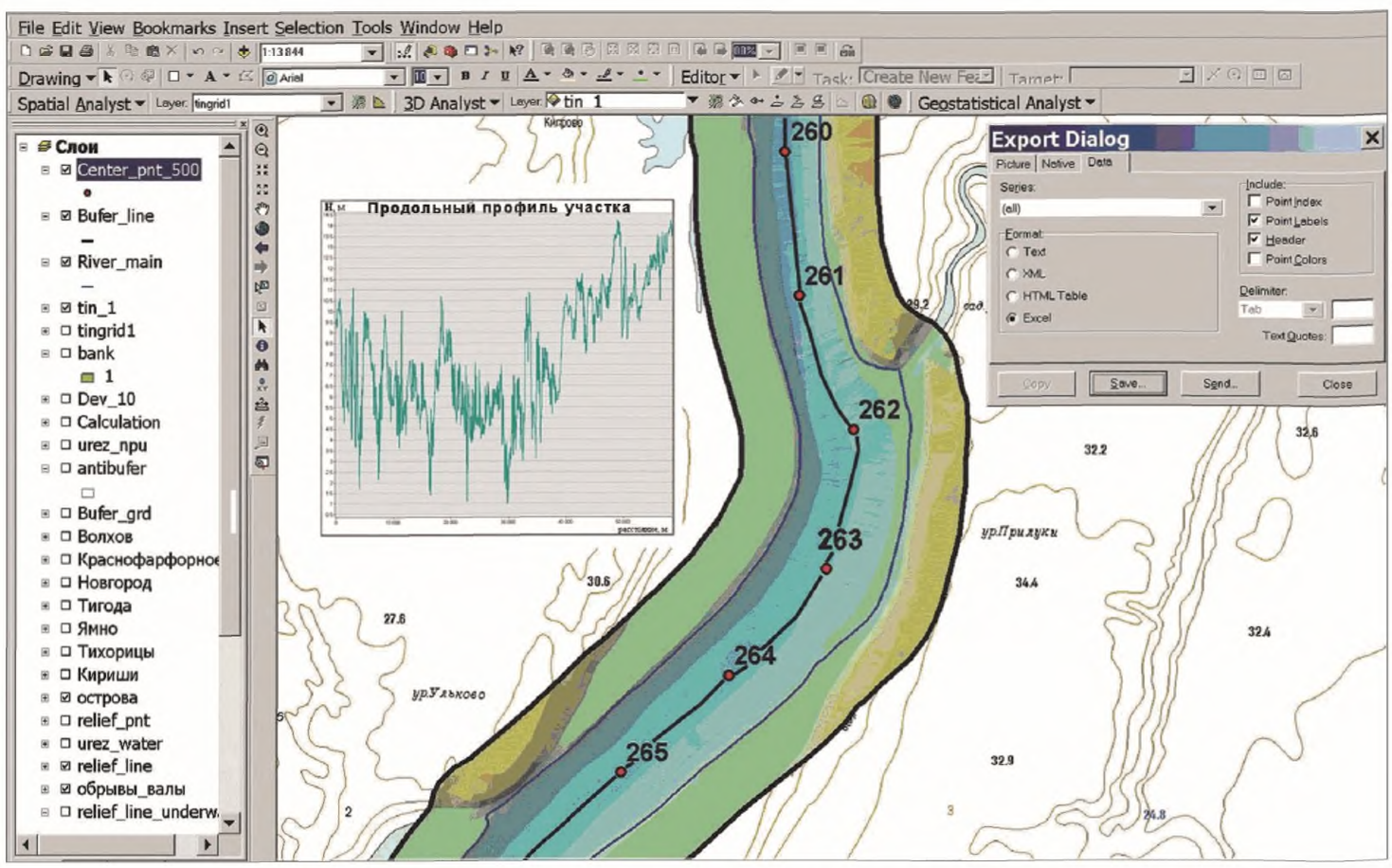

Рисунок 8.15 – Построение продольного профиля водохранилища

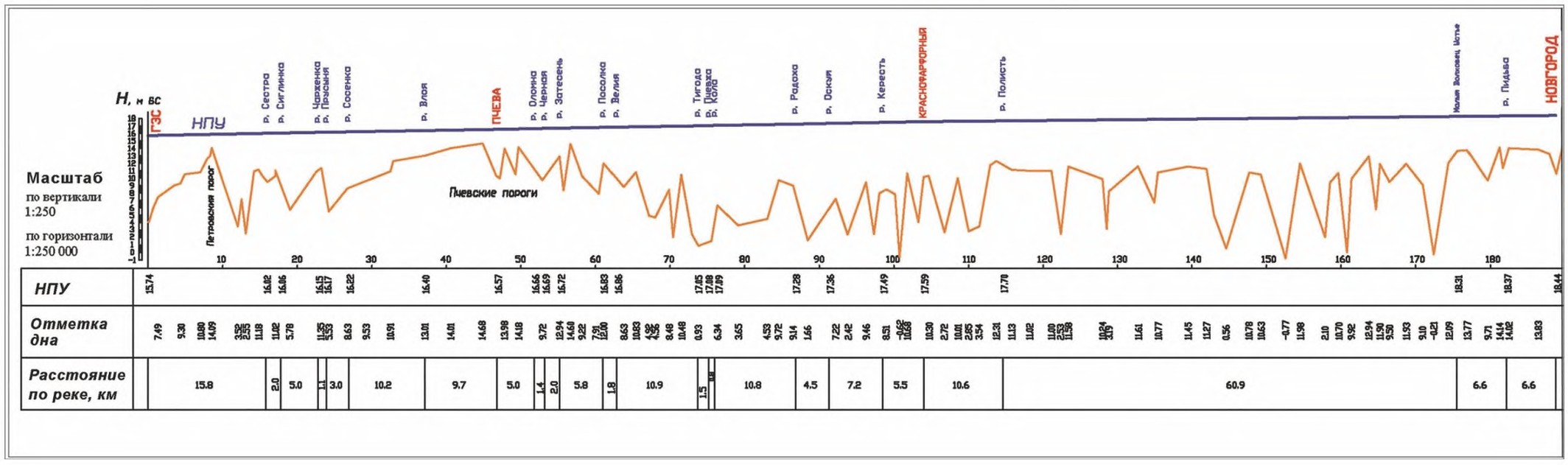

Рисунок 8.16 – Фрагмент продольного профиля Волховского водохранилища от Новгорода до плотины ГЭС

8.2.3.7 Инструмент *Объём для поверхности (Surface Volume)* используется для расчёта объёма воды в водоёме при разных уровнях воды. В результате работы инструмента вычисляется площадь поверхности и объём поверхности над указанной высотой или базовой плоскостью. Поверхность может быть растром или TIN. Параметры инструмента представлены в таблице 8.4.

Таблица 8.4 – Параметры инструмента *Объём*

Параметр	Информация
in_surface	Входная растровая или TIN поверхность, использующаяся для вычисления площади и объёма.
out_text_ file (доп.)	Дополнительный выходной ASCII текстовый файл с разделителями-запятыми, в который записываются результаты работы инструмента
reference_ plane (доп.)	ABOVE – объём и площадь вычисляются над высотой плоскости. Используется по умолчанию. BELOW – объём и площадь вычисляются под высотой плоскости (Plane Height).
base_z (доп.)	Высота плоскости, используемая для вычисления площади и объёма.
z_factor (доп.)	Коэффициент, на который умножаются высоты входной поверхности для вычисления объёма; используется для преобразования единиц измерения z в единицы измерения x, y.

При установке значения Базовой плоскости *(Reference Plane) BELOW (НИЖЕ)* вычисляется площадь проекции и площадь поверхности для её части, расположенной ниже указанной *Высоты плоскости (Plane Height)*. Объём будет подсчитан для находящейся под указанной высотой части поверхности. На рисунке 8.17 показано использование базовой поверхности *BELOW (НИЖЕ).*

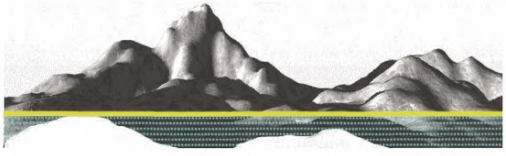

Рисунок 8.17 – Базовая плоскость находится выше поверхности

Расчёты выполняются с любым заданным шагом высоты уровня воды. Рекомендуется результаты запомнить в текстовом файле и экспортировать в Excel для дальнейшей обработки.

8.2.3.8 Батиграфическая и объёмная кривые водоёма.

В результате выполнения расчётов объёмов и площадей по цифровой модели Волховского водохранилища с помощью функции *Объём (Volume)* могут быть получены зависимости площади и объёма от высоты уровня воды водохранилища (таблица 8.5) и построены батиграфическая и объёмная кривые (рисунки 8.18 - 8.19).

Таблица 8.5 – Зависимость площади и объёма от высоты уровня воды Волховского водохранилища (фрагмент)

Глубина от НПУ, м	Высота H, м (Б.С)	Площадь зеркала, F (км²)	Объём, V (млн. м³)	Комментарии
-1.04	14.70	50.85	219.09	УМО
-0.50	15.24	54.14	247.40	
0.00	15.74	61.06	276.13	НПУ
0.50	16.24	68.20	307.52	
1.00	16.74	80.50	344.88	
1.50	17.24	90.80	387.83	
2.13	17.87	113.71	452.93	ФПУ

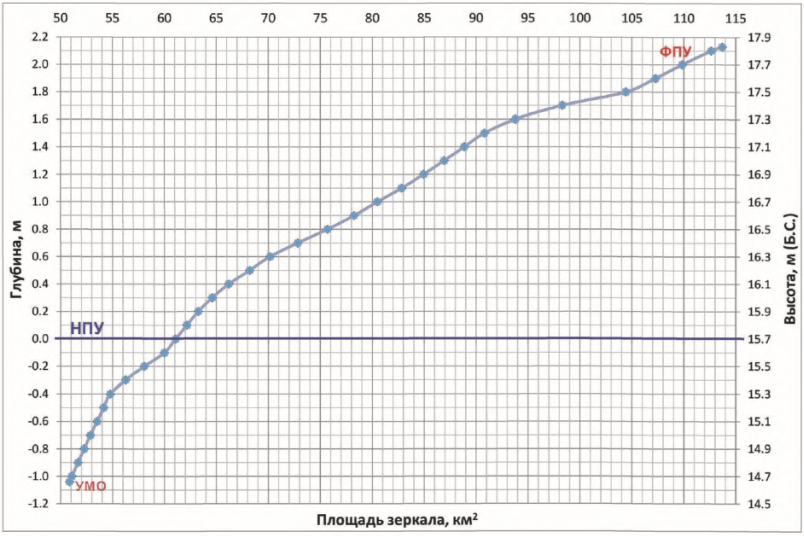

Рисунок 8.18 – Батиграфическая кривая Волховского водохранилища

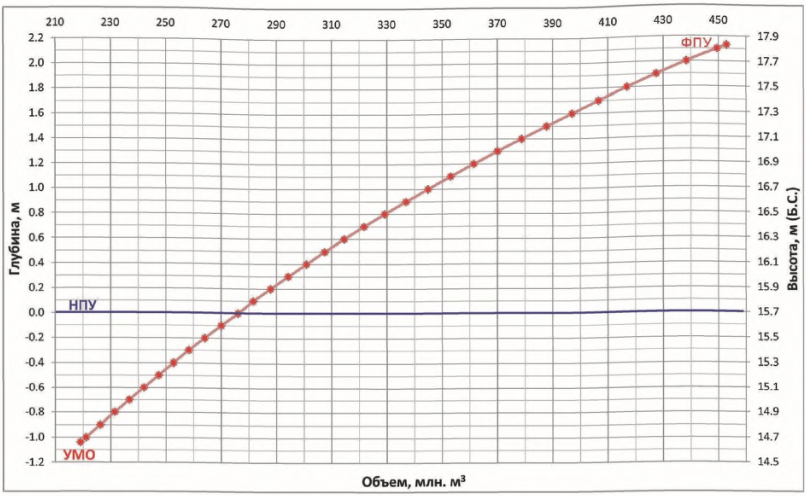

Рисунок 8.19 – Объёмная кривая Волховского водохранилища

8.2.4 Инструменты приложения Spatial Analyst

8.2.4.1 Инструменты группы *Гидрология (Hydrology)* используются для моделирования движения воды по земной поверхности путём извлечения гидрологической информации из цифровой модели рельефа (ЦМР) [27].

Для качественной работы инструментов группы *Гидрология* необходимо выполнение следующих условий:

- ЦМР должна быть построена на основе крупномасштабных карт, планов или подробной топогеодезической съёмки участка местности;
- бассейн исследуемого водного объекта должен быть достаточно увлажненным и не должен быть зарегулированным.

Результаты работы инструментов группы *Гидрология* часто далеки от совершенства и их необходимо дорабатывать вручную. Например, линия водоразделов, полученная по матрице высот, зачастую «режет» мелкие водотоки и т.д.

Инструменты группы Гидрология могут применяться по отдельности и использоваться последовательно для построения сети водотоков или выделения водоразделов (таблица 8.6)

Таблица 8.6 – Инструменты группы Гидрология

Инструмент	Описание
Бассейн (Basin)	Создаёт растр, содержащий контуры границ водосбора (дренажного бассейна).
Заполнение (Fill)	Заполняет локальные понижения в растре поверхности для удаления небольших ошибок и неточностей данных.
Суммарный сток (Flow Accumulation)	Создаёт растр потока накопления в каждую ячейку. Можно дополнительно применить фактор веса.
Направление стока (Flow Direction)	Создаёт растр направления стока из каждой ячейки к соседней ячейке вниз по склону наибольшей крутизны.
Длина линии стока (Flow Length)	Вычисляет расстояние вверх или вниз по течению, или взвешенное расстояние, вдоль потока для каждой ячейки.
Локальное понижение (Sink)	Создаёт растр, определяющий локальные понижения или районы внутреннего дренажа.
Привязка точки устья (Snap Pour Point)	Привязывает точки устьев к ячейке с наибольшим суммарным стоком в пределах заданного расстояния.
Идентификация водотоков (Stream Link)	Присваивает уникальные значения секциям растровой линейной сети, расположенным между сочленениями линий.
Порядок водотока (Stream Order)	Присваивает число, определяющее порядок, сегментам растра, представляющим сегменты линейной сети.
Водоток в объект пространственный	Преобразует растр, представляющий линейную сеть в векторные объекты, представляющие сеть линий.
Водораздел (Watershed)	Определяет водосборную область, расположенную выше набора ячеек растра.

В компьютерном представлении водосборная область представляет собой территорию, с которой осуществляется сток воды в «точку створа». Сеть, по которой перемещается вода, можно представить в виде дерева, где основание дерева является «точкой створа». Ветви дерева – водотоки (рисунок 8.20).

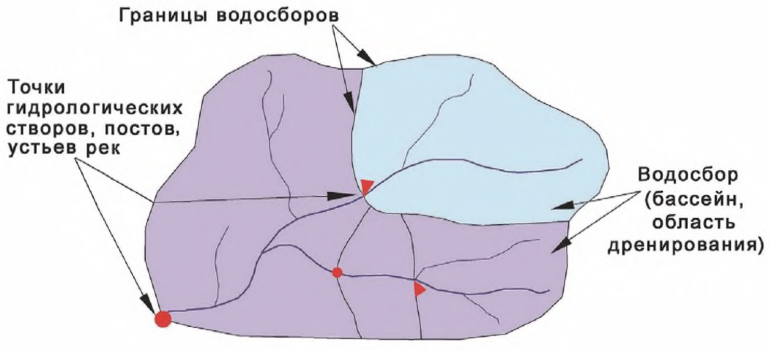

Рисунок 8.20 – Водосбор реки

8.2.4.2 Для получения гидрологических характеристик поверхности необходимо определить направление стока из каждой ячейки растра. Это делается с помощью инструмента *Направление стока (Flow Direction)*.

Этот инструмент использует поверхность в качестве входных данных и выдает растр, показывающий направление стока каждой ячейки. Есть 8 корректных выходных направлений относительно 8 смежных ячеек, в которые может перейти сток. Направление стока определяется направлением максимального понижения из каждой ячейки. Если найдено направление самого крутого понижения, выходной ячейке дается значение, представляющее это направление.

Если все соседние ячейки выше, чем обрабатываемая ячейка, такая ячейка будет рассматриваться как ошибка в данных; она должна быть заполнена до минимального значения высоты соседних ячеек. Сток будет осуществляться в эту ячейку. Однако в том случае, если локальное понижение размером в одну ячейку расположено на физическом краю растра, или в её окрестностях есть хотя бы одна ячейка со значением NoData (нет данных), заполнения не происходит из-за недостаточности информации. Чтобы ячейка могла рассматриваться как истинное локальное понижение для нее должна быть информация по всем соседним ячейкам.

Если сток из двух ячеек осуществляется друг в друга, они являются локальными понижениями с неопределенным направлением стока. Ячейки, которые являются локальными понижениями, определяются с помощью инструмента *Локальное понижение (Sink).* Чтобы получить точное представление направления стока по поверхности, нужно заполнить локальные понижения до использования инструмента *Направление стока* .

8.2.4.3 *Привязка точки створа (Snap Pour Point)* привязывает точки устьев, постов, гидрологических створов к ячейке с наибольшим суммарным стоком в пределах заданного расстояния.

Если входные данные точек створов представлены в виде класса точечных объектов, они будут внутренне конвертированы в растр для последующей обработки.

Выходные данные – это целочисленный растр, на котором исходные положения точек устьев привязаны к местоположениям с высоким суммарным стоком.

8.2.4.4 Локальное понижение – это ячейка или набор пространственно смежных ячеек, направлению стока из которых не может быть присвоено ни одного из восьми корректных значений направлений в растре направления стока. Такое происходит в том случае, если все соседние ячейки выше, чем обрабатываемая ячейка, либо, когда две ячейки перетекают друг в друга, образуя петлю из двух ячеек.

Чтобы точно определить направление стока и, следовательно, суммарный сток, лучше пользоваться набором данных, в котором нет локальных понижений.

Локальные понижения в данных по высотам, как правило, возникают из-за ошибок в данных. Эти ошибки зачастую вызваны методами выбора опорных точек и округлением высот до целых чисел. Локальные понижения в данных по высотам с размером ячеек 10 метров или менее встречаются редко, за исключением ледников или карстовых областей, и, в целом, могут рассматриваться как ошибки. По мере того, как увеличивается размер ячейки, количество локальных понижений в наборе данных зачастую тоже увеличивается.

Рекомендуется определить и удалить локальные понижения при создании ЦМР. Иногда полезно знать глубину локального понижения. Эта информация может быть использована для определения подходящего ограничения по высоте (Z limit) для инструмента Заполнение локальных понижений (*Fill*) или для понимания типа ошибок, присутствующих в данных (рисунок 8.21).

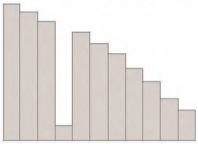

Рисунок 8.21 – Профиль локального понижения

8.2.4.5 Инструмент *Водораздел (Watershed*).

Чтобы определить область водосборов, нужно предварительно создать растр, представляющий направление стока, с помощью инструмента Направление стока (*Flow Direction*).

Затем нужно обеспечить местоположения, для которых нужно определить область водосборов. Исходные ячейки могут быть пространственными объектами, например, дамбами или водомерными постами, для которых нужно определить характеристики водосбора.

Если для определения водораздела используется пороговое значение суммарного стока, точками устьев для водораздела будут соединения сети водотоков, полученные из суммарного стока. Таким образом, должен быть задан растр суммарного стока, а также минимальное количество ячеек, которые составляют поток (пороговое значение). Выходными данными является растр водоразделов (рисунок 8.22).



Рисунок 8.22 – Выделенные водоразделы

8.2.4.6 Функция *Бассейн* создаёт растр, содержащий контуры дренажного бассейна (таблица 8.7).

Водосборные бассейны выделяются путём определения линий водоразделов между бассейнами. Входной растр направления стока анализируется с целью поиска всех смежных ячеек, которые принадлежат к одной и той же водосборной области. Водосборные бассейны создаются путём размещения точек устьев на краях окна анализа. Также определяются локальные понижения. Затем устанавливается область выше каждой точки устья, из которой осуществляется сток в эту точку. Это приводит к созданию растра водосборных бассейнов.

Лучших результатов можно добиться, если при создании входного растра *Направления стока (Flow Direction)* была включена опция *Сток из крайних ячеек направлен наружу (Force all edge cells to flow outward)*. Все ячейки растра будут относиться к какому-либо бассейну, даже если он состоит из одной ячейки.

Таблица 8.7 – Параметры инструмента *Basin*

Параметр	Информация
in_flow_direction_raster	Входной растр направлений стока для каждой ячейке, созданный с помощью инструмента *Направление стока (Flow Direction)*.
out_raster	Создаваемый растр, содержащий контуры дренажных бассейнов.

8.3 Измерения средствами программы AutoCAD (Map 3D и Civil 3D)

Информация по работе с инструментами AutoCAD представлена в [29], [30].

8.3.1 Привязка космического снимка. Перед тем, как произвести привязку снимка необходимо убедиться в правильности установленной системы координат.

На панели инструментов выбрать вкладку «Вставка» ➤ «Растровое изображение» ➤ выбрать нужный файл ➤ в окне «Вставка изображения» можно задать значения точки вставки, масштаб и угол поворота снимка вручную или указать непосредственно на экране (рисунок 8.23).

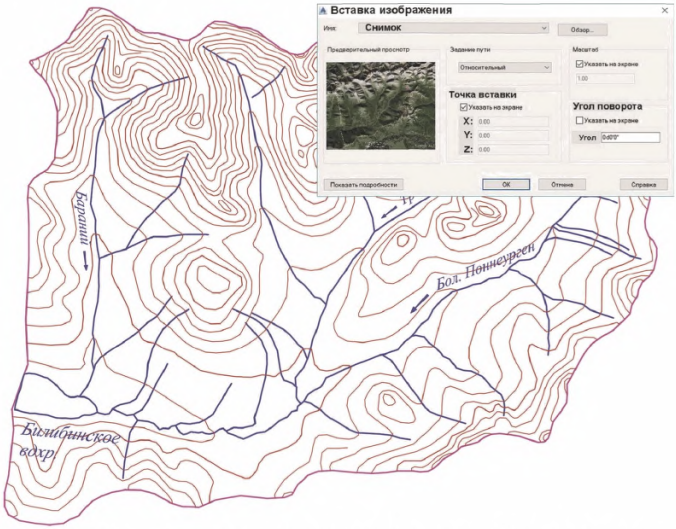

Рисунок 8.23 – Вставка космического снимка без геопривязки в рабочий файл

При наличии у космического снимка файла геопривязки нужно выбрать на панели инструментов вкладку «Составление карты» ➤ «Изображение» ➤ «Вставка…» ➤ выбрать имя файла ➤ в открывшемся окне «*Корреляция изображения*» выбрать параметры

корреляции ➤ параметры вставки определяются автоматически (рисунок 8.24).

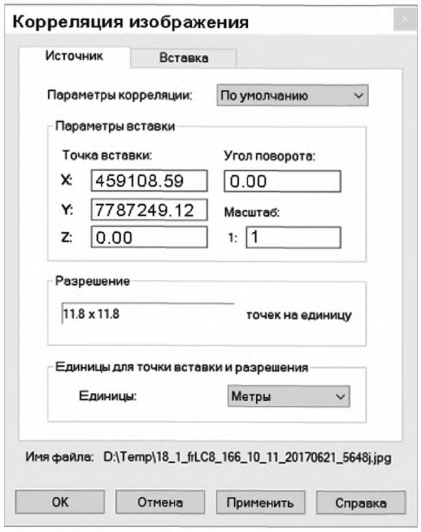

Рисунок 8.24 – Окно «Корреляция изображения»

На рисунке 8.25 показан результат географической привязки снимка Landsat-8 от 07.08.2015 с использованием цифрового плана местности.

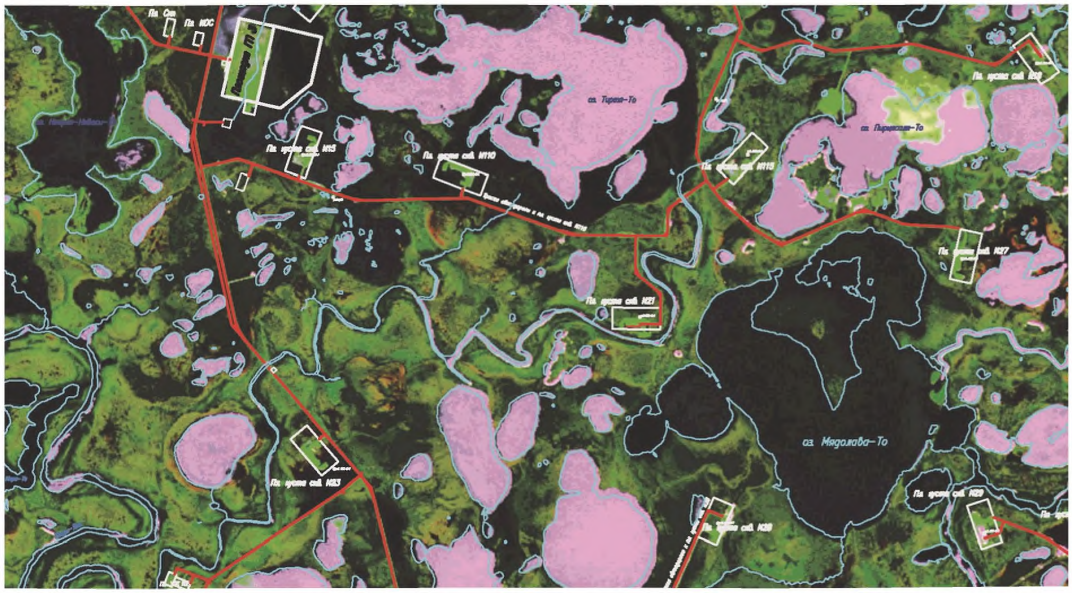

Рисунок 8.25 – Результат вставки снимка с геопривязкой (Landsat-8 от 07.06.2015) в план местности.

8.3.2 Измерение длины (водного объекта) на плоскости. Существует несколько способов измерения длины на плоскости:

1) измерение с помощью иконки .
Выбрать вкладку «Главная» ➤ панель «Утилиты» ➤ «Разметить» ➤ «Расстояние» .

2) измерение с помощью команды *ИЗМЕРИТЬГЕОМ* ➤ *длина*.

3) с помощью панели «Свойства» можно увидеть значение длины объекта, предварительно выделив объект.

8.3.3 Измерение геодезической длины (водного объекта) по поверхности. Длина геодезической линии — это фактическое расстояние по земле с учётом кривизны земной поверхности.

Существует несколько способов измерения геодезической длины:

1) измерение с помощью иконки .
Выбрать вкладку «*Анализ*» ➤ панель «Геоинструменты» ➤ «*Георасстояние*» . Результат отобразится в командной строке.
2) измерение с помощью команды *MAPDIST*.
В командной строке AutoCAD отобразится результат вычислений.

8.3.4 Измерение площади (водного объекта) производится одним из способов:

1) измерение с помощью иконки .
Выбрать вкладку *«Главная»* ➤ «*Утилиты*» ➤ *«Разметить»* ➤ *«Площадь»*  ➤ в запросе ввести «*О*» (объект) ➤ выбрать объект.
2) измерение с помощью команды *ИЗМЕРИТЬГЕОМ*.
На запрос выбрать – «*П*» (площадь).

Измерения можно получить путём выбора объекта или путём указания точек на том объекте, который требуется измерить. Площадь и периметр выбранного объекта отображаются в командной строке и в подсказке.

В командной строке необходимо выбрать действие:

- объект (вычисление площади и периметра выбранного объекта). При этом нужно следить, чтобы объект не был самопересекающимся. При выборе незамкнутой полилинии, значение площади вычисляется так,

как если бы последняя и первая точка были соединены прямым отрезком (рисунок 8.26);



Рисунок 8.26 – Вычисление площади незамкнутой полилинии

- добавить площадь (включение режима добавления и отображение общих совокупных измерений для последовательных областей, указанных пользователем). Можно указать точки и выбрать объекты для выполнения расчета. Например, можно выбрать два объекта для расчета общей площади (рисунок 8.27);

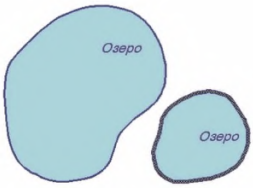

Рисунок 8.27– Определение суммарной площади озер

- вычесть площадь (вычитание площади вложенного объекта из общей площади). Можно указать точку внутри вложенного объекта или выбрать объекты для выполнения расчёта (рисунок 8.28).



Рисунок 8.28 – Вычитание площади острова из площади озера

3) измерение с помощью команды *СПИСОК* или с помощью панели *«Свойства»*. Значение площади объекта можно увидеть, предварительно выделив объект.

8.3.5 Определение центра водного объекта.

Для определения геометрического центра плоской фигуры в AutoCAD Map необходимо на панели инструментов выбрать вкладку «*Составление карты*» ➤ «*Полигоны*» ➤ «*Создать центроиды*». В открывшемся окне «*Создание центроидов*» ➤ выбрать объект, центр которого необходимо определить ➤ выбрать слой. В результате появится точка геометрического центра объекта.

8.3.6 Создание топологии водных объектов.

В AutoCAD присутствуют функции работы с точечной, линейной и площадной топологией. Топология применяется для проверки корректности геометрии и анализа пространственных данных. Прежде чем анализировать топологию, её надо создать.

На панели инструментов выбрать вкладку «*Данные и анализ карт*» ➤ «*Топология*» ➤ «*Создать*» .

Для расчёта густоты речной сети нужна длина всех водотоков бассейна. Ее можно быстро определить с помощью линейной (сетевой) топологии.

Площади полигональных объектов (озёр, болот, лесов, ледников и т.д.) данного бассейна можно вычислить с помощью полигональной топологии. Одновременно с созданием полигональной топологии автоматически формируется геометрический центр каждого площадного объекта.

Морфометрическая информация созданной топологии записывается в статистику. Например, для водотоков в статистику запишется количество измеренных водотоков, их суммарная длина, а также средняя, минимальная и максимальная длины водотоков. Для площадных объектов (озёр, болот, лесов, ледников и т.д.) в статистику запишется их количество, суммарная площадь, а также средняя, минимальная и максимальная площади.

Для просмотра статистики необходимо выбрать вкладку «*Данные и анализ карт*» ➤ «*Топология*» ➤ «*Управление*» ➤ «*Статистика*» (рисунок 8.29).

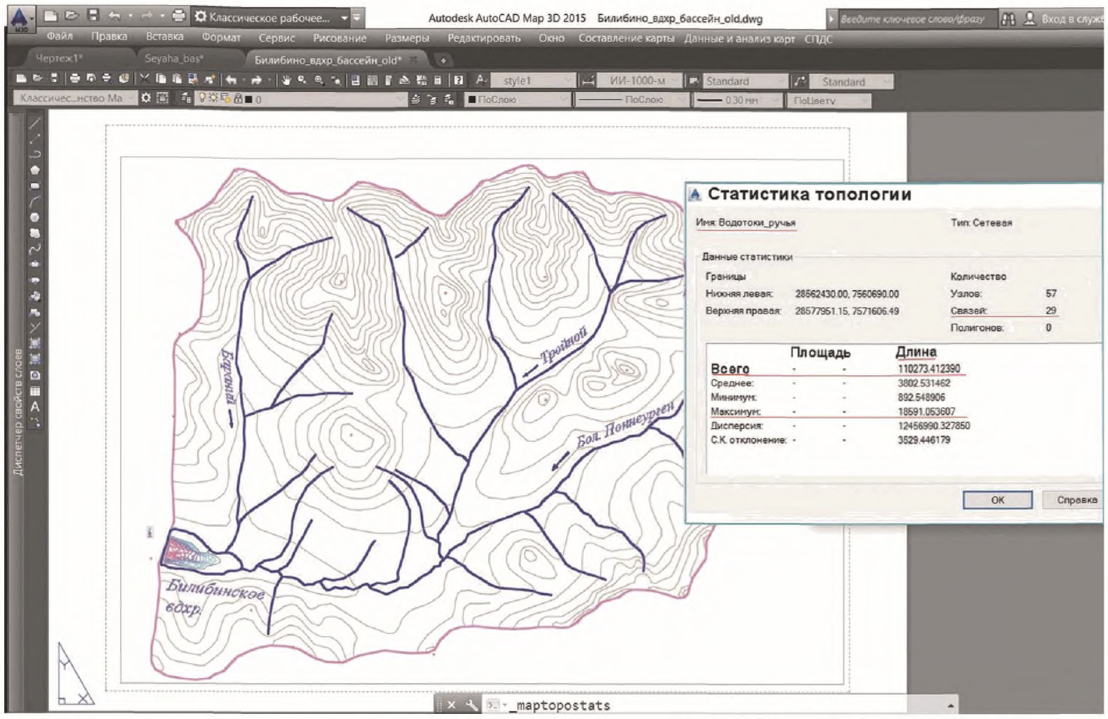

Рисунок 8.29 – Получение морфометрической иформации о водных объектах с помощью создания топологии и просмотра ее статистики.

8.3.7 Построение цифровой модели рельефа водосбора.

Для построения поверхности водосбора на панели «*Область инструментов*» выбрать «*Поверхность*» ➤ «*Создать поверхность*». В Открывшемся окне «*Создание поверхности*» в списке «*Тип*» выбрать «*Пов-ть TIN*». Далее задать имя поверхности, описание и стиль (рисунок 8.30).

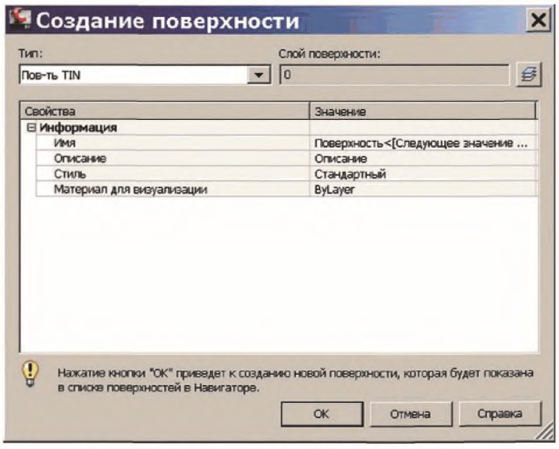

Рисунок 8.30 – Окно «Создание поверхности»

Если в строке стилей отображается только «стандартный», то следует выбрать пункт «*Открыть*» в строке «*Тип файла*» ➤ *Шаблоны чертежей (*.dwt)* ➤ *_AutoCad Civil 3D (Metric)_RUS*. Если нет шаблонов стилей, то можно создать новый с нужными параметрами.

Созданная поверхность пока пустая, необходимо к ней добавить горизонтали и высотные отметки. Для добавления горизонталей необходимо вызвать «*Область инструментов*» ➤ «*Поверхность*» ➤ *Целевая поверхность* ➤ «*Определение*» ➤ «*Горизонтали*» ➤ «*Добавить..*» ➤ *ОК* ➤ выбрать «Все горизонтали» (рисунок 8.31). Для добавления высотных отметок необходимо вызвать панель «*Область инструментов*» ➤ «*Поверхность*» ➤ *Целевая поверхность* ➤ «*Определение*» ➤ «*Группы точек*» ➤ «*Добавить..*» ➤ выбрать «*Все точки*».

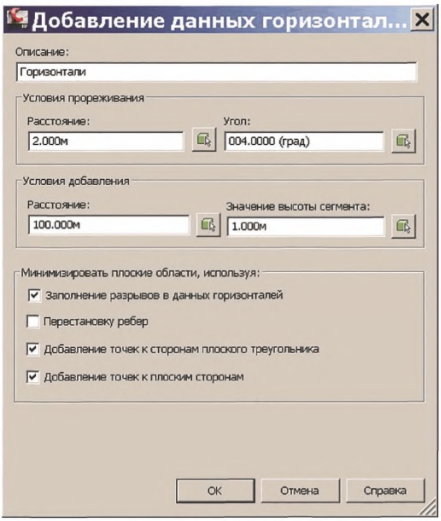

Рисунок 8.31 – Окно «Добавление данных горизонталей»

На рисунке 8.32 показана созданная цифровая модель местности (TIN-модель водосбора Билибинского водохранилища).

8.3.8 Гидрологический анализ цифровой модели рельефа водосбора. На основе цифровой модели рельефа местности можно произвести гидрологический анализ: построить водосборы, определить их среднюю высоту и уклон, получить направления стоков воды и т.д.

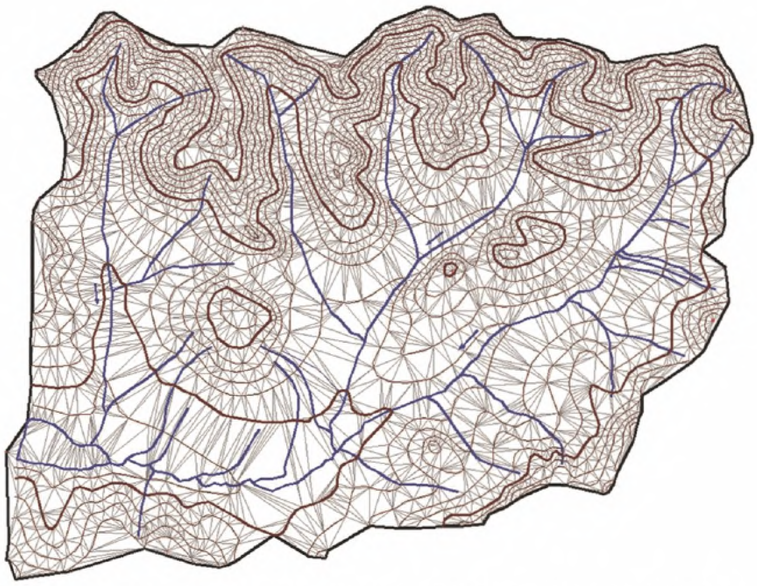

Рисунок 8.32 – TIN-модель водосбора водохранилища

По линиям TIN-модели рельефа вычисляются области возможных стоков воды по поверхности. На основе этих областей определяются площади водосборов.

На панели «*Область инструментов*» *выбрать «Целевая поверхность»* ➤ *«Редактировать стиль поверхности»* ➤ *в окне «Стиль поверхности»* ➤ *«Водосборы»* ➤ в необходимых категориях водосборов отметить штриховку как «*Истина*» и задать свойства штриховки (рисунок 8.33).

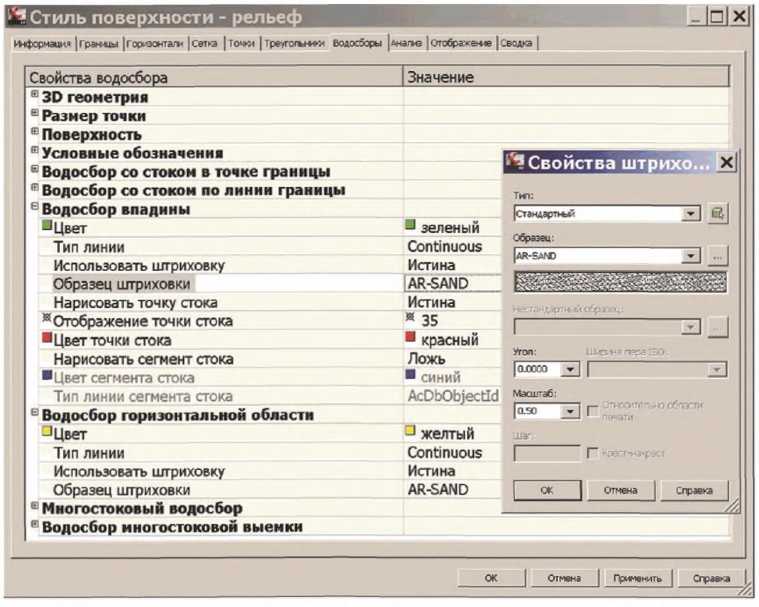

Рисунок 8.33 – Окна «Стиль поверхностей» и «Свойства штриховки»

Во вкладке «*Отображение*» необходимо сделать Водосборы видимыми. Затем следует произвести анализ полученных водосборов: «*Свойства поверхности*» ➤ «*Анализ*» ➤ *Тип анализа «Водосборы»* ➤ . Сведения о водосборах отображаются в свойствах поверхности ЦМР в таблице «*Сведения о диапазоне*». Пример получения границ водосборов поверхности показан на рисунке 8.34 красными линиями.



Рисунок 8.34 – Результат получения водосборов поверхности для бассейна Билибинского водохранилища

На панели «*Область инструментов*» ➤ *Целевая поверхность* ➤ «*Редактировать стиль поверхности*» ➤ вкладка «*Анализ*» ➤ «*Отметки*» ➤ *Цветовая схема диапазона* выбрать значение «*Суша*» ➤ вкладка «*Отображение*» ➤ сделать видимыми *Отметки* (рисунок 8.35).

В результате анализа высотных отметок треугольники поверхности закрашиваются в соответствии с заданными диапазонами значений отметок.

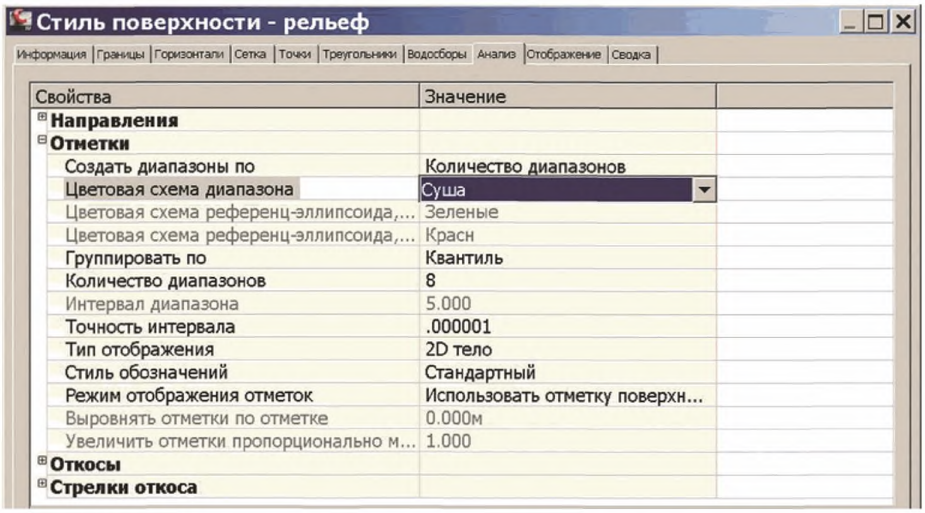

Рисунок 8.35 – Задание параметров для анализа высотных отметок

Для определения средней высоты и уклона по цифровой модели водосбора в окне «*Свойства поверхности*» необходимо выбрать вкладку «*Статистика*» (рисунок 8.36).

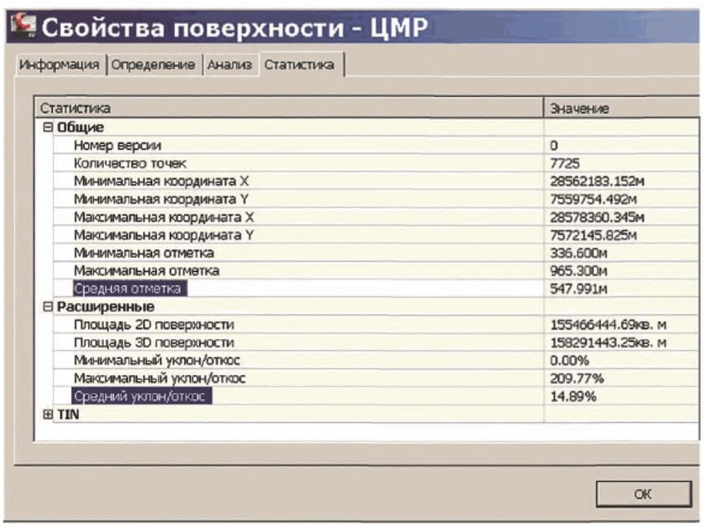

Рисунок 8.36 – Определение средней высоты и уклона водосбора

8.3.9 Измерение объёма (водного объекта).

Измерение объема производится одним из способов:

1) измерение с помощью иконки . Выбрать вкладку «*Главная*» ➤ «*Утилиты*» ➤ «*Разметить*» ➤ «*Объём*»  ➤ в запросе ввести «*Б*» (объект) ➤ выбрать объект. В командной строке необходимо выбрать нужный пункт:

- объект (измерение объема объекта или заданной области). Можно выбирать 3D или 2D объекты. При выборе 2D объекта необходимо указать высоту для этого объекта;
- добавить объём. Активация режима добавления и вычисления объема нарастающим итогом по мере определения областей;
- вычесть объём. Включение режима вычитания указанного объема из общего объёма.

2) измерение с помощью команды *ИЗМЕРИТЬГЕОМ*.

На запрос выбрать – «*О*» (измерение объёма объекта или области).

3) измерение с помощью поверхностей. Для определения объёма необходимо помимо создания поверхности рельефа, также создать секущую поверхность. Сначала необходимо построить поверхность рельефа дна водного объекта (рисунок 8.37). Затем, в качестве секущей поверхности необходимо взять плоскость поверхности воды, соответствующую урезу воды.

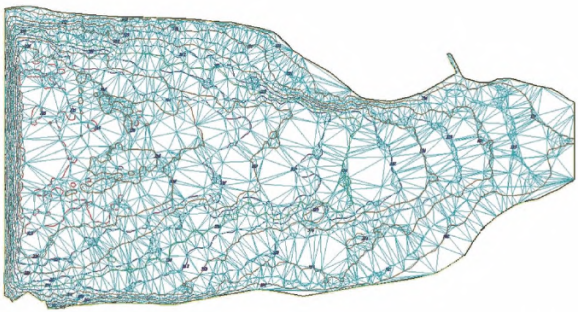

Рисунок 8.37 – TIN-поверхность рельефа дна Билибинского водохранилища

Для расчета объема на панели инструментов выбрать вкладку *«Анализ»* ▶ *«Объёмы»*

В открывшейся таблице (рисунок 8.38) необходимо выбрать поверхности, объём между которыми необходимо рассчитать.

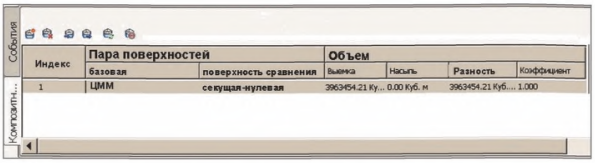

Рисунок 8.38 – Фрагмент таблицы расчёта объёмов

8.3.10 Построение профилей водных объектов.

Профиль отображает отметки поверхности вдоль представляющей интерес линии.

Во вкладке «*Главная*» на панели инструментов необходимо выбрать пункт «*Профиль*» ➤ «*Быстрый профиль*». Выбрать линию, вдоль которой строится профиль. В открывшемся окне «*Создать профиль*» отметить поверхность, относительно которой строится профиль, стиль отображения и указать месторасположение профиля на чертеже. Профиль ручья, полученный в результате работы инструмента «*Профиль*», представлен на рисунке 8.39.

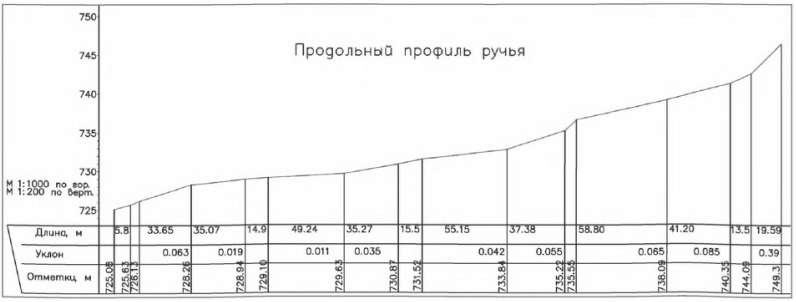

Рисунок 8.39 – Профиль ручья Бараний

Приложение А
(рекомендуемое)

Примеры

А.1 Определение морфометрических характеристик водохранилища с использованием программы ArcGis

Требовалось определить морфометрические характеристики Билибинского водохранилища, его водосбора и водотоков, впадающих в водохранилище, построить батиграфическую и объемную кривые водохранилища.

В данных государственного водного реестра [31] Билибинское водохранилище отсутствует, имеется только информация о ручье Бол. Поннеурген до строительства на нем водохранилища (таблица А.1).

Таблица А.1 – Ручей Бол. Поннеурген (по данным ГВР)

Код водного объекта	19010300112219000069755
Тип водного объекта	Ручьи
Название	руч. Бол. Поннеурген
Местоположение	32 км по лв. берегу р. Бол. Кэпэрвеем
Впадает в	река Бол. Кэпэрвеем в 32 км от устья
Бассейновый округ	Анадыро-Колымский бассейновый округ
Речной бассейн	Колыма
Речной подбассейн	Анюй
Водохозяйственный участок	Анюй, включая реки Большой и Малый Анюй
Длина водотока	26 км
Водосборная площадь	0 км²
Код по гидрологической изученности	119006975
Номер тома по ГИ	19
Выпуск по ГИ	0

Все необходимые измерения морфометрических параметров выполнялись по топографической карте R-58-141-142 масштаба 1:100 000 в проекции Гаусса-Крюгера (зона 28) издания 1991 г., привязанной к цифровой географической основе по угловым координатам карты (рисунок А.1). Для выполнения работы была использована программа ArcGis 10.2.

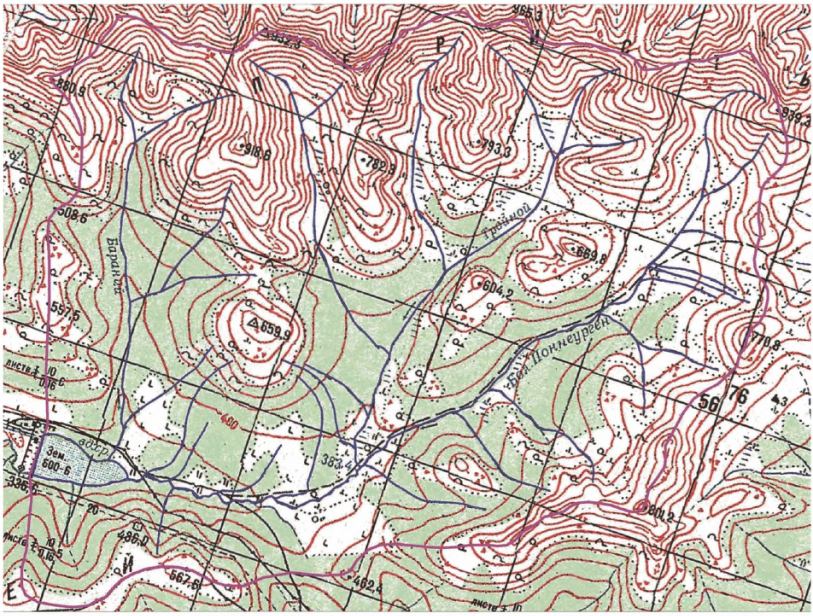

Рисунок А.1 – Фрагмент топографической карты R-58-35, 36 на район исследования

Для выполнения морфометрических расчётов с растровой карты были оцифрованы водохранилище и ручьи, впадающие в него. Линия водораздела водохранилища была проведена по топографической карте с учётом рельефа местности и расположения сети ручьев (рисунок А.1). Полученная схема бассейна Билибинского водохранилища представлена на рисунке А.2.

К полученной цифровой основе было привязано изображение батиметрической карты Билибинского водохранилища совмещением контуров водохранилища на обеих картах. Векторный файл рельефа дна водохранилища был получен путем цифрования горизонталей растровой батиметрической карты.

Для лучшего восприятия рельефа каждой горизонтали был присвоен свой цвет (от светло-голубого до тёмно-синего (рисунок А.3). Уровень воды на день промера глубин составил 336.96 м Б.С., площадь зеркала воды – 620 тыс. м^2, объём воды в водохранилище – 3961 тыс.м^3, а средняя глубина – 6.4 м.

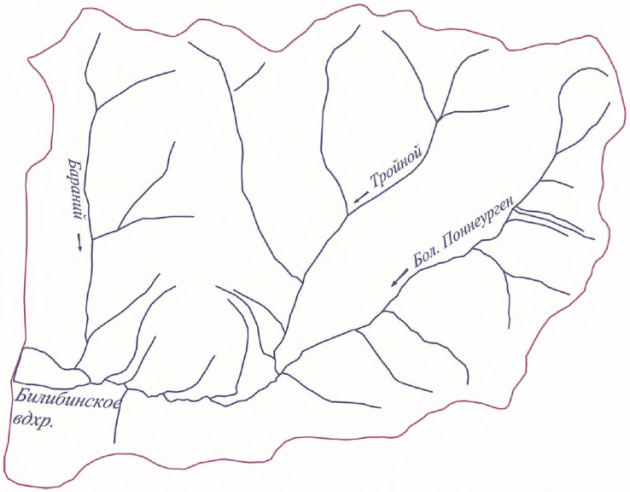

Рисунок А.2 – Схема бассейна Билибинского водохранилища

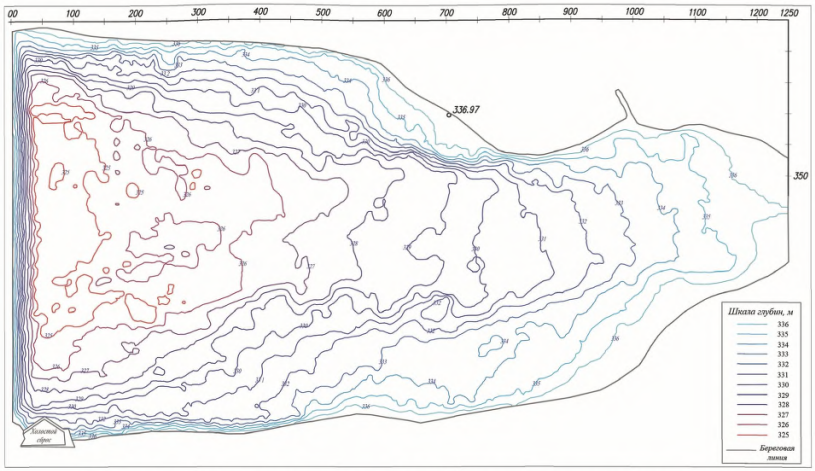

Рисунок А.3 – Рельеф дна Билибинского водохранилища

Средствами программы ArcGis методом линейной триангуляции была создана цифровая TIN-модель Билибинского водохранилища (рисунок А.4). Далее из нее была получена сеточная модель рельефа дна водохранилища с размером ячейки 5х5м (рисунок А.5), по которой

определены площади зеркала воды и объём водохранилища для различных уровней водной поверхности (таблица А.2) и построены батиграфическая и объёмная кривые Билибинского водохранилища (рисунки А.6 и А.7).

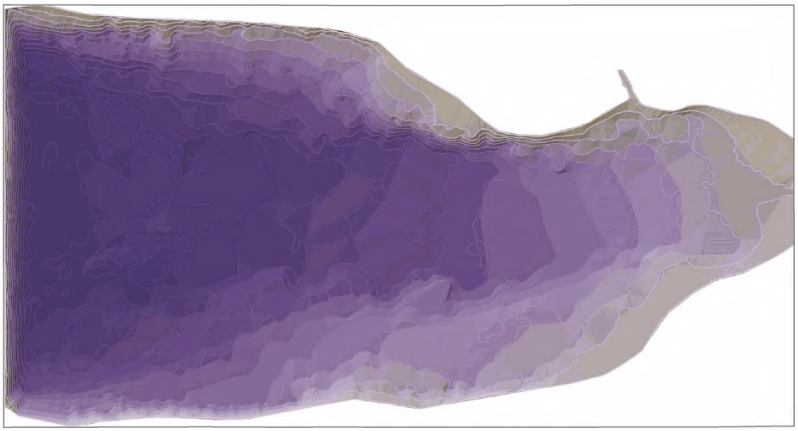

Рисунок А.4 – TIN-модель рельефа дна Билибинского водохранилища

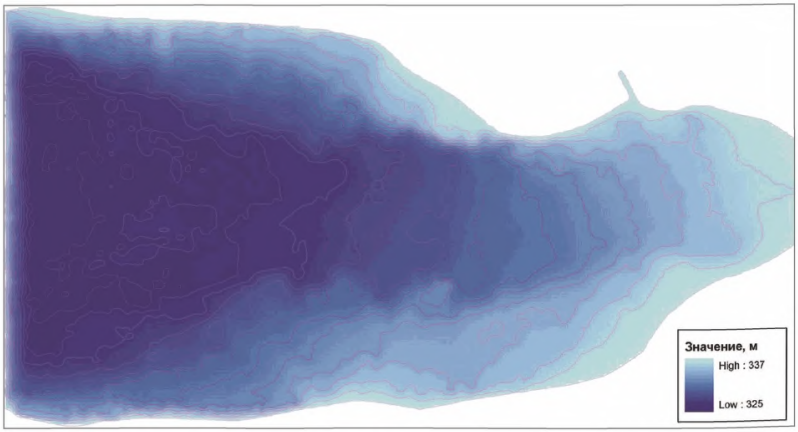

Рисунок А.5 – Сеточная модель рельефа дна Билибинского водохранилища

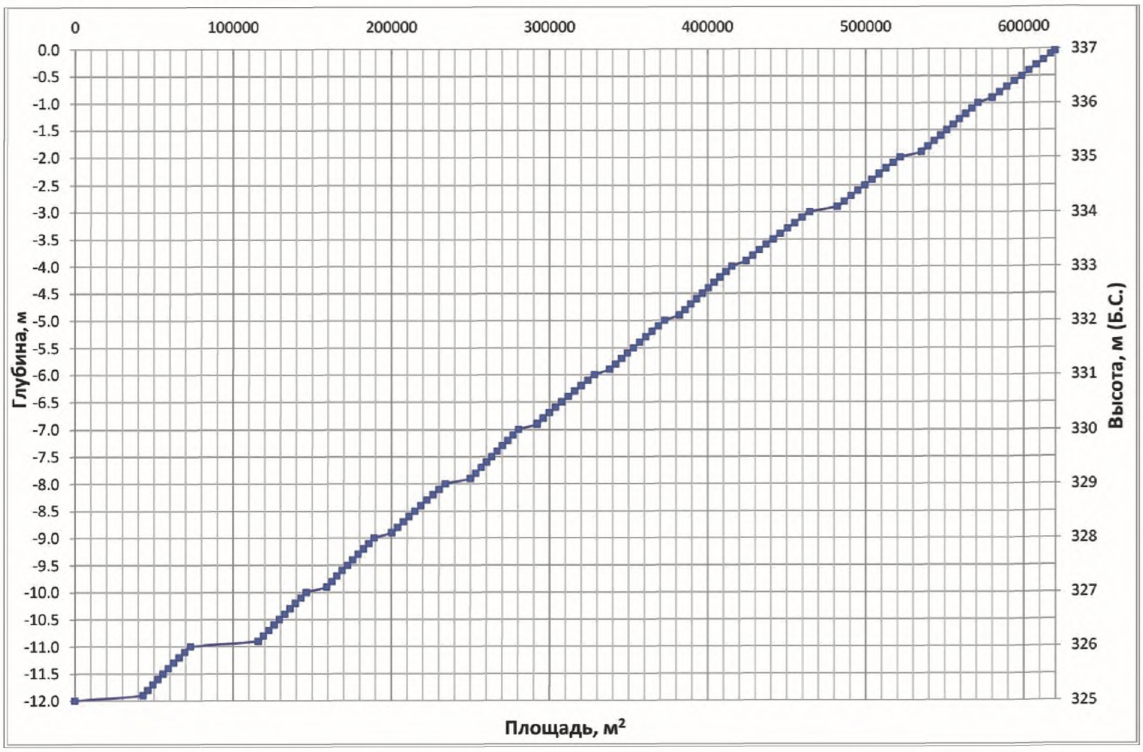

Рисунок А.6 – Батиграфическая кривая Билибинского водохранилища

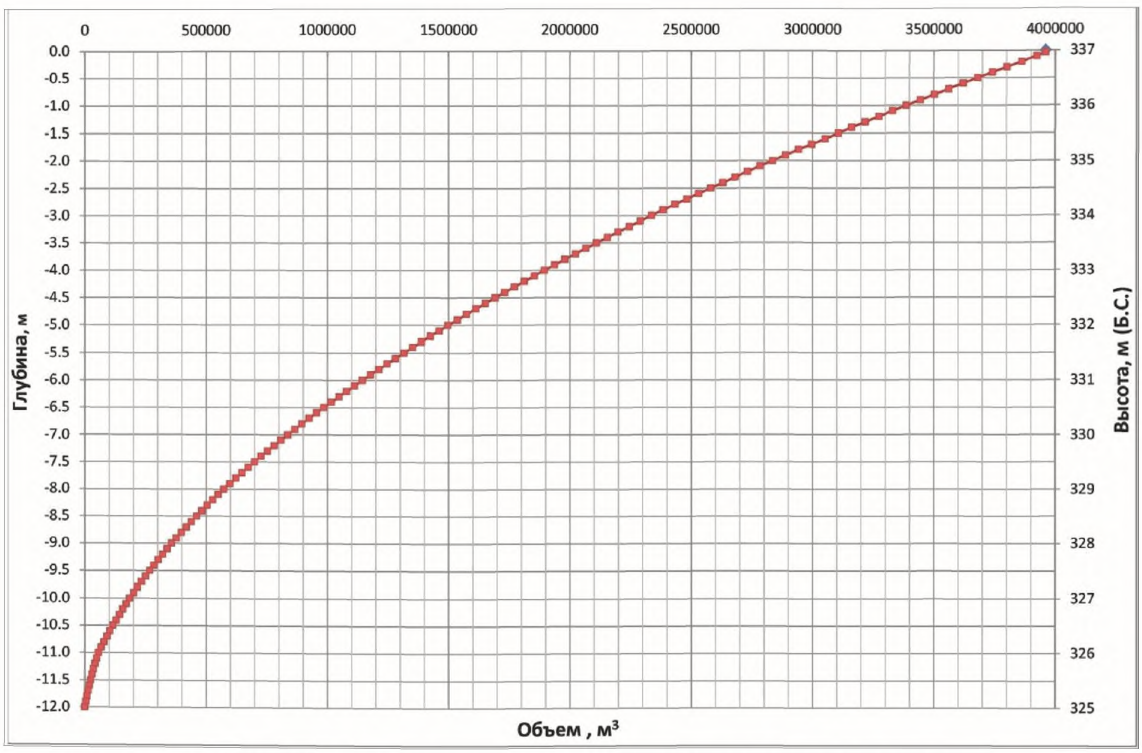

Рисунок А.7 – Объёмная кривая Билибинского водохранилища

Таблица А.2 – Зависимость площадей и объёмов водохранилища от уровня воды (фрагмент)

Глубина от поверхности воды, м	Высота уровня воды H, м (Б.С)	Площадь зеркала водохр., F ($м^2$)	Объём водохр., V ($м^3$)
0.0	**336.96**	**619769**	**3961147**
-0.1	336.9	617051	3924042
-0.2	336.8	612502	3862564
-0.3	336.7	607929	3801543
-0.4	336.6	603333	3740979
-0.5	336.5	598712	3680877
-0.7	336.3	589400	3562064
-0.8	336.2	584708	3503358
-0.9	336.1	579992	3445123
-1.0	336.0	571106	3387361
-1.5	335.5	551430	3106705
-2.0	335.0	521936	2836016
-2.5	334.5	499521	2580680
-3.0	334.0	464602	2336385
-3.5	333.5	441493	2109937
-4.0	333.0	415477	1894588
-4.5	332.5	396772	1691547
-5.0	332.0	372859	1497732
-5.5	331.5	353146	1316272
-6.0	331.0	328506	1144419
-6.5	330.5	307761	985409
-7.0	330.0	280315	836431
-7.5	329.5	263521	700467
-8.0	329.0	234162	572930
-8.5	328.5	214841	460738
-9.0	328.0	189312	357853
-9.5	327.5	172373	267458
-10.0	327.0	146414	185376
-10.5	326.5	129328	116456
-11.0	326.0	73145	55990
-11.5	325.5	55672	23865
-12.0	325.0	215	75

Отдельно была создана цифровая TIN-модель рельефа местности водосбора Билибинского водохранилища (рисунок А.8). Далее из неё была получена сеточная модель рельефа местности водосбора водохранилища с размером ячейки 50×50м (рисунок А.9), по

которой определены средняя высота водосбора и средний уклон склонов водосбора. Продольный профиль ручья Бол. Поннеургеи был получен по линии ручья, наложенной на цифровую модель рельефа местности (рисунок А.10).

В результате прямых измерений по цифровой карте (координаты водных объектов, длины водотоков, длина, ширина и площадь водосбора), расчетов по цифровой модели местности (средняя высота бассейна, глубина водохранилища, объем и площадь водохранилища, уклон склонов водосбора) и расчетов по формулам (густота речной сети, средний уклон водотока) получены морфометрические характеристики Билибинского водохранилища (таблица А.3) и его водосбора (таблица А.4).

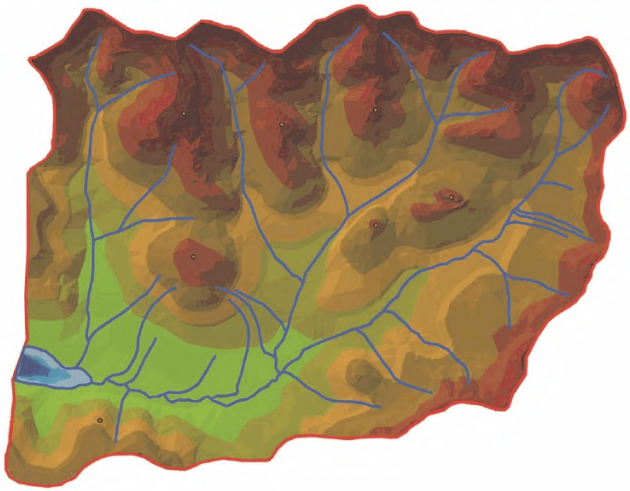

Рисунок А.8 – TIN-модель рельефа водосбора Билибинского водохранилища

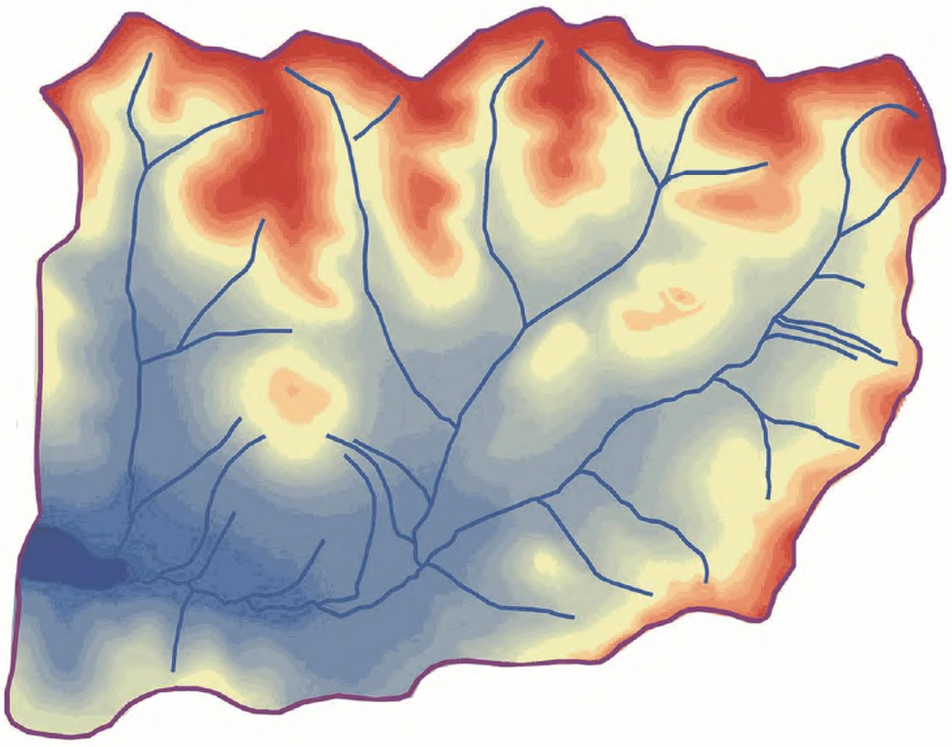

Рисунок А.9 – Сеточная модель рельефа водосбора Билибинского водохранилища

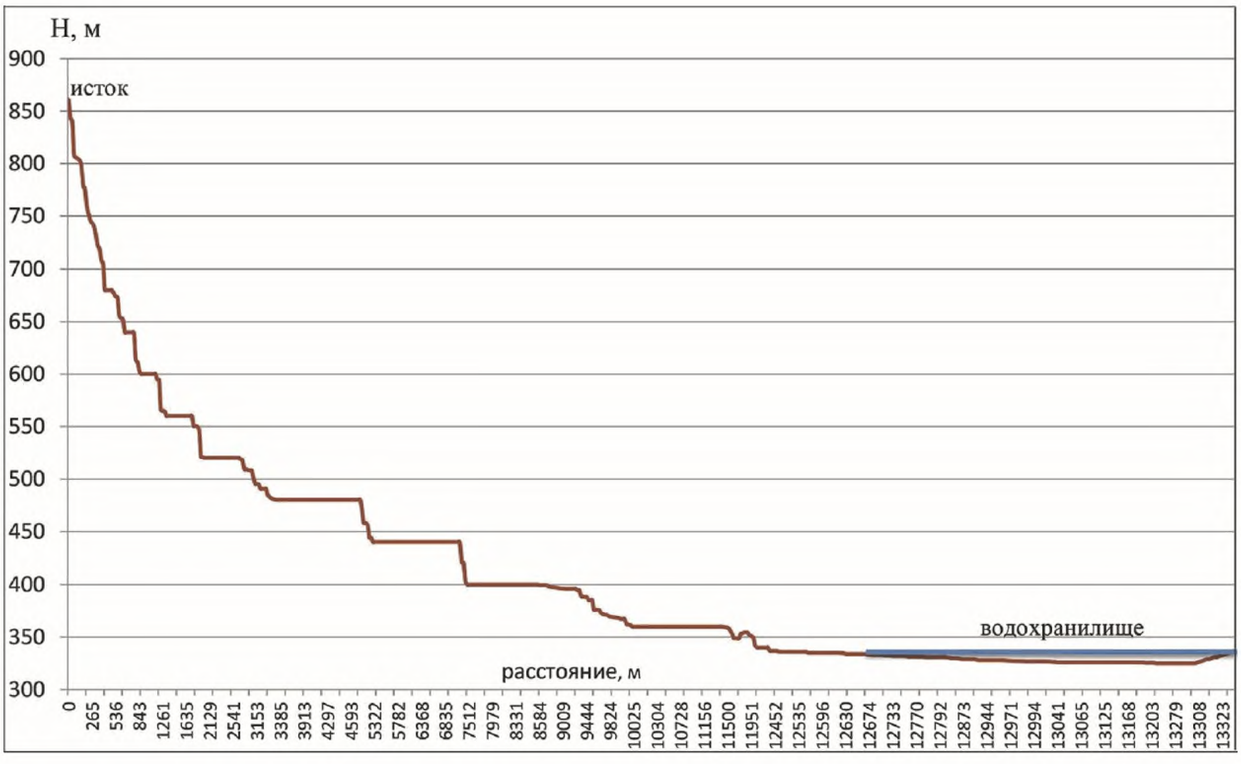

Рисунок А.10 – Продольный профиль ручья Большой Поннеурген

Таблица А.3 – Морфометрические характеристики Билибинского водохранилища

Характеристика	Значение
Координаты, дес. град.	68.1427°N, 166.5211°E
НПУ, м (Б.С)	338
Площадь НПУ, тыс.м^2	662
Объем НПУ, тыс.м^3	5190
Средняя глубина при НПУ, м	7,8
Максимальная глубина при НПУ, м	18
УМО, м (Б.С)	333
Площадь УМО, тыс.м^2	415
Объем УМО, тыс.м^3	1895
Средняя глубина УМО, м	4,5
Длина водохранилища, м	1300
Максимальная ширина, м	665

Таблица А.4 – Морфометрические характеристики водосбора Билибинского водохранилища

Характеристика	Значение
Координаты центра тяжести, дес. град	68.08842°N, 166.72393°E
Площадь водосбора водохранилища, км^2	67,6
Средний уклон склонов водосбора, ‰	0,24
Средняя высота водосбора, м	556
Густота речной сети, км/км^2	1,02
Длина руч. Бол. Поннеурген, км	12,2
Длина руч. Тройной, км	7,0
Длина руч. Бараний, км	5,9
Средний уклон руч. Бол. Поннеурген, ‰	0.041
Извилистость водотока	1,19

А.2 Определение морфометрических характеристик реки с использованием программы AutoCAD

Требовалось определить морфометрические характеристики реки Се-Яха, ее притоков и крупнейших озер бассейна реки Се-Яха, построить продольный и поперечные профили Се-Яхи.

Река Се-Яха расположена в средней части полуострова Ямал, впадает в реку Морды-Яха, которая в свою очередь впадает в залив Шарапов Шар (рисунок А.11).

Важной гидрологической особенностью территории является замедленный поверхностный сток и слабый естественный дренаж грунтовых вод, что связано с плоским рельефом и малым врезом речных долин. Река и ее притоки имеют неглубокие, очень извилистые русла и низкие берега.

Данные государственного водного реестра [31] по реке Се-Яха представлены в таблице А.5. Схема бассейна р. Се-Яха показана на рисунке А.12.

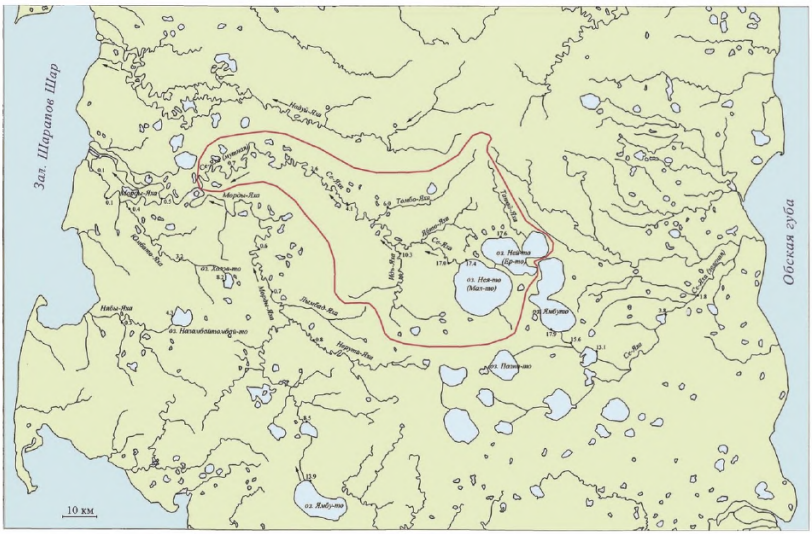

Рисунок А.11 – Бассейн р. Се-Яха на карте Ямала

Таблица А.5 – Река Се-Яха (по данным государственного водного реестра)

Код водного объекта	15010000112115300039300
Тип водного объекта	Река
Название	Се-Яха
Местоположение	61 км по пр. берегу р. Морды-Яха
Впадает в	река Морды-Яха в 61 км от устья
Бассейновый округ	Нижнеобский бассейновый округ
Речной бассейн	Реки бассейна Карского моря междуречья Печоры и Оби
Водохозяйственный участок	Реки бассейна Карского моря от западной границы бассейна р. Бол. Ою до мыса Скуратова
Длина водотока	229 км
Водосборная площадь	3230 км²
Код по ГИ	115303930
Номер тома по ГИ	15
Выпуск по ГИ	3

Все необходимые измерения морфометрических параметров выполнялись по цифровым топографическим картам масштаба 1:100 000 в проекции Гаусса-Крюгера (зона 12). Линия водораздела реки была проведена по цифровой карте с учётом рельефа местности и расположения сети ручьев. На космическом снимке (рисунок А.13) хорошо видны Неятинские озера в истоке реки Се-Яха.

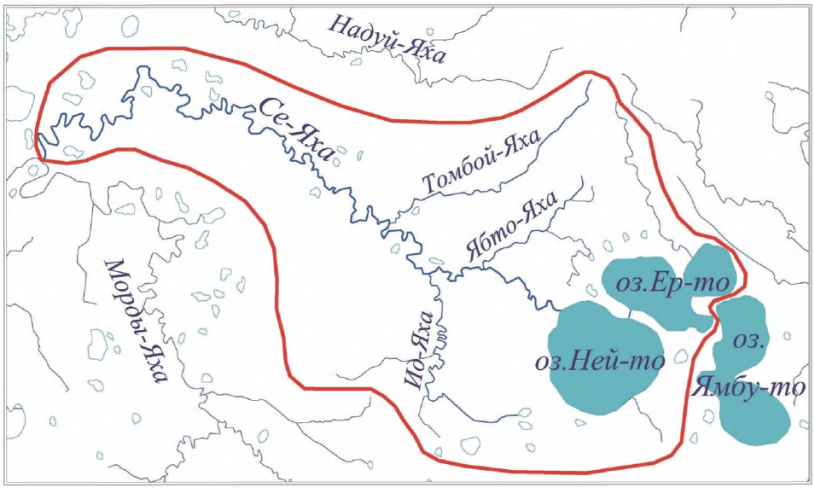

Рисунок А.12 – Схема бассейна реки Се-Яха

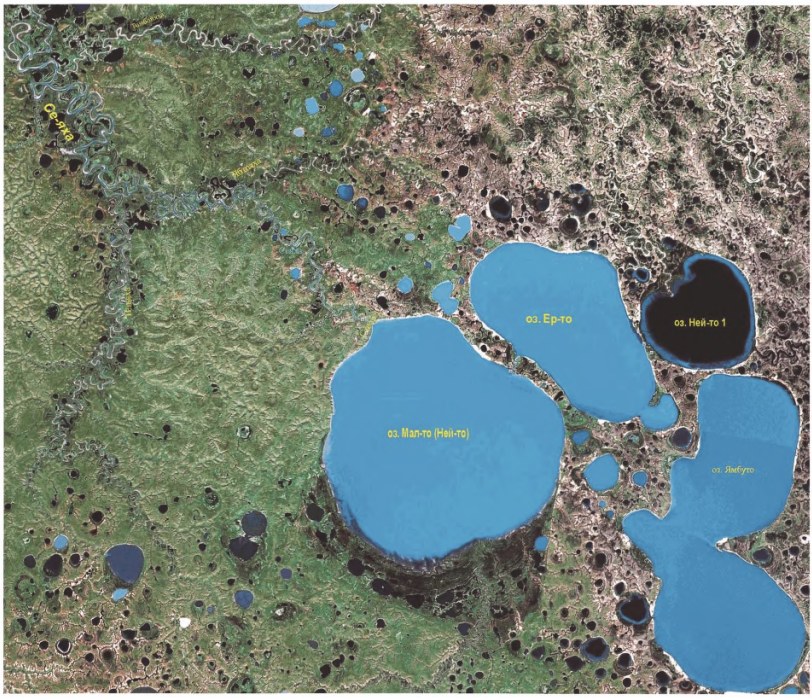

Рисунок А.13 – Неятинские озера в истоке р. Се-Яха на космическом снимке Landsat 7

На базе программ AutoCAD 2015 Map 3D и Civil была создана цифровая TIN-модель рельефа водосбора реки Се-Яха (рисунок А.14), по которой определены средняя высота водосбора и средний уклон склонов водосбора.

Поперечный профиль был проведен по нормали к реке Се-Яха ниже впадения одного из притоков (рисунок А.15). Продольный профиль реки Се-Яха был получен по линии реки, наложенной на цифровую модель рельефа местности (рисунок А.16).

В результате прямых измерений по цифровой карте и космическому снимку (координаты водных объектов, длины водотоков, длина, ширина и площадь водосбора), расчётов по цифровой модели местности (средняя высота бассейна, уклон склонов водосбора) и расчётов по формулам (густота речной сети, средний уклон водотока) были получены морфометрические характеристики реки Се-Яха и её водосбора (таблица А.6), морфометрические характеристики притоков

(таблица А.7) и крупнейших озер (таблица А.8). Характеристики, полученные с использованием ГИС-технологии, приводятся в сравнении с данными, опубликованными в Ресурсах поверхностных вод СССР [32].

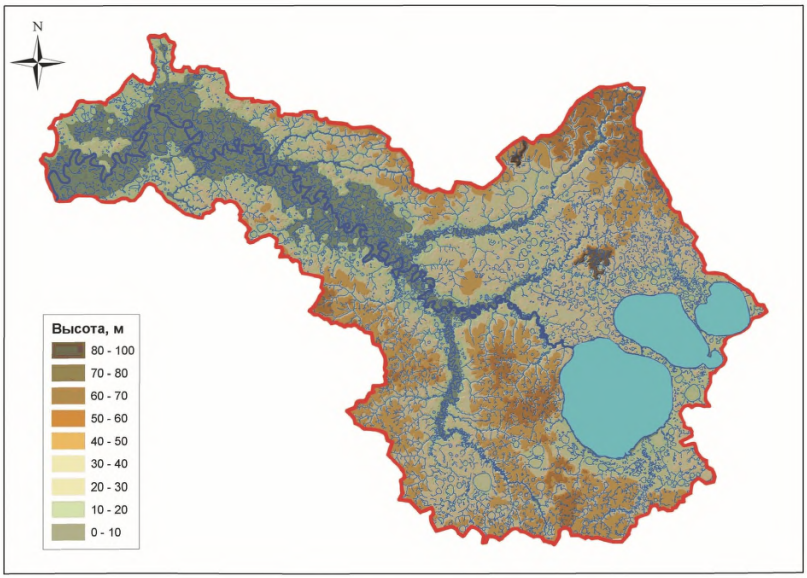

Рисунок А.14 – Цифровая модель местности водосбора реки Се-Яха

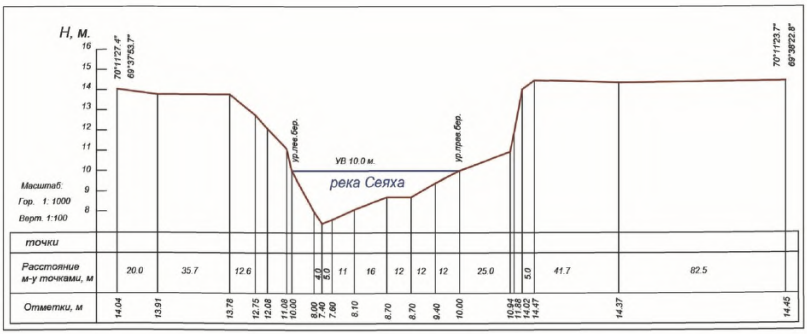

Рисунок А.15 – поперечный профиль р. Се-Яха, расположенный ниже впадения р. Ид-Яха

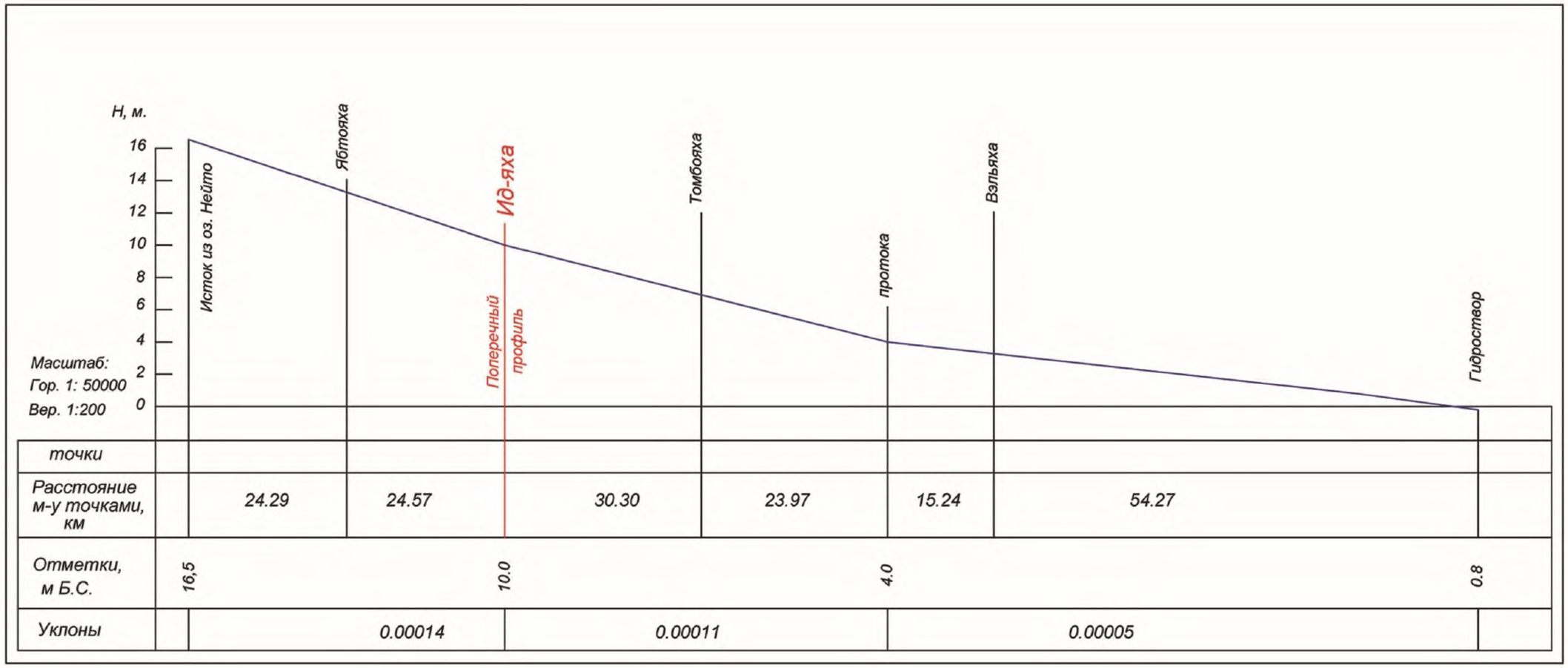

Рисунок А.16 – Продольный профиль р. Се-Яха

Таблица А.6 – Морфометрические характеристики р. Се-Яха

Характеристика	ГИС [33]	[32]	Расхождение, %
Площадь водосбора, *км²*	3602	3600*	0.1
Длина реки, *км*	248	229	7.7
Коэффициент извилистости	3,15		
Ширина реки в устье, *м*	190		
Средний уклон реки, ‰	0,067		
Средняя высота водосбора, *м*	15		
Средний уклон склонов водосбора, ‰	0,015		
Площадь озер без озер Ней-то и Ер-то, *км²*	259,7		

Примечание – *по данным Водхоза с учётом Неятинских озёр, расположенных в истоке

Таблица А.7 – Морфометрические характеристики притоков р. Се-Яха

Река	*Км.* от устья впадения в Се-Яху	Площадь водосбора *км²*	Длина реки, *км*			Средний уклон реки	Коэф. извилистости
			ГИС [33]	[32]	Расхождение,%		
Ханголова-Яха	75	44,6	18,6	15	19	0,0019	2,76
Хэнадуй-Яха	99	60,8	27,5	24	13	0,0016	1,62
Вэло-Яха	104	44,8	27,1	24	11	0,0018	1,60
Томбой-Яха	156	448,9	89,5	78	13	0,0007	2,08
Ид-Яха	182	606,8	96,9	92	5	0,0002	2,77
Ябто-Яха	207	203,4	34,3	43	25	0,0010	1,92

Таблица А.8. Морфометрические характеристики крупнейших озер (Неятинских) в бассейне реки Се -Яха

Озера	Площадь зеркала озера, км²			Площадь водосбора, км²		
	ГИС [33]	[32]	Расхождение, %	ГИС [33]	[32]	Расхождение, %
Мал-то (Ней-то)	212	215	0.7	500	515	2.9
Ер-то и Ней-то 1	152	165	7.9	412	440	6.3

Библиография

[1] Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 97 с.

[2] Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 282 с.

[3] Guide. To hydrological practices. Fifth edition 1994. WMO-№168. – P. 735. – На англ. яз.

[4] Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – М.: ФГУП «Картгеоцентр, 2005. – 287 с.

[5] Вахрамеева Л.А. Картография. – М.: изд. "Недра", 1981. - 224 с.

[6] Герасимов А.П., Назаров В.Г. Местные системы координат. – М: ООО «Изд. Проспект», 2010. – 64 с.

[7] Методические указания управлениям гидрометслужбы №56. Картометрические работы для получения гидрографических характеристик. - Л.: Гидрометеоиздат, 1960. – 97 с.

[8] Общая цифровая картографическая основа для применения в информационных системах и комплексах Росгидромета (ЦКО Росгидромета), (версия 1.0, октябрь 2014 года). Общее описание /ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2014, 34 с. + СД-диск.

[9] gost.e-ecolog.ru kosmichesk_snimkov.pdf Кравцова В.И., Михеева А.И. Программа дисциплины «Фонд космических снимков». (Дата обращения 07.07.2015).

[10] gost.e-ecolog.ru А.Н., Шитов А.В. Введение в геоинформационное картирование. Учебно-методическое пособие. Горно-Алтайск, 2001. (Дата обращение 29.03.2017).

[11] gost.e-ecolog.ru Сайт «ГИС и дистанционное зондирование». Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM / ETM+. (Дата обращения 29.03.2017).

[12] Хлебникова Т.А., Горобцов С.Р. Автоматизированные системы обработки геопространственных данных. Цифровое моделирование рельефа в ГИС «Панорама». – Новосибирск, СГГА, 2013. – 61 с.

[13] gost.e-ecolog.ru Официальный сайт Росреестра (Дата обращения 12.04.2017).

[14] gost.e-ecolog.ru циальный сайт Госгисцентра (Дата обращения 09.04.2017).

[15] ГКИНП 17-267-02. Инструкция о порядке предоставления в пользование и использования материалов и данных федерального картографо-геодезического фонда. – М.: ЦНИИГАиК, 2002.

[16] Кудрицкий Д.М., Попов И.В., Романова Е.А. Основы гидрографического дешифрирования аэрофотоснимков. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1956 г. – 344 с.

[17] Аковецкий В.И. Дешифрирование снимков. – М.: изд. "Недра", 1983. – 374 с.

[18] Лабутина И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. – М.: Аспект Пресс, 2004. – 184 с.

[19] Методические рекомендации по использованию спутниковой информации для оценки ледовой обстановки на реках, водохранилищах и озерах. Л.: Гидрометеоиздат 1987.– 94 с.

[20] Дистанционное зондирование. Количественный подход. Под редакцией Ф. Свейна и Ш. Дейвис. Москва «Недра» 1983. – 416 с.

[21] Картографирование по космическим снимкам и охрана окружающей среды. / Востокова Е.А., Шевченко Л.А., Сущеня В.А. и др. М., Недра, 1982. – 251 с.

[22] Методические рекомендации по применению материалов аэрофотосъемок для исследования и расчета характеристик водной эрозии почв. Ленинград. Гидрометеоиздат. 1986. – 109 с.

[23] Аполлов Б.А. Учение о реках. – М.: изд. Московского Университета, 1963. – 423с.

[24] Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. - СПб: Нестор-История, 2009 – 194 с.

[25] Управление данными ДЗЗ и их обработка в ArcGIS. Учебные материалы, ч.1. - ESRI CIS, 2013. – 36 с.

[26] gost.e-ecolog.ru Сайт «Географические информационные системы и дистанционное зондирование». Полиномиальные преобразования. (Дата обращения 05.04.2017).

[27] gost.e-ecolog.ru ArcGIS Pro справка. (Дата обращения 12.04.2017).

[28] gost.e-ecolog.ru Координатная привязка карты в ArcMap. (Дата обращения 20.04.2017).

[29] gost.e-ecolog.ru Сайт компании Autodesk, США. (Дата обращения 23.03.2017).

[30] Пелевина И.А. Самоучитель AutoCAD Civil 3D 2011. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416с.

[31] gost.e-ecolog.ru Государственный водный реестр. (Дата обращения 29.03.2017).

[32] Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Том 15, вып.3. – Л.: Гидрометеоиздат, 1964. – 432 с.

[33] Орлова Е. В. Определение географических и гидрологических характеристик водных объектов с использованием ГИС-технологий. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, СПб, 2008 -215 с.

Ключевые слова: ГИС-технология, картометрия, морфометрические характеристики, уклон реки, средний уклон водосбора, водораздел, площадь водосбора, длина водотока, средняя высота водосбора, продольный профиль водотока, поперечный профиль водотока, извилистость реки, батиграфическая кривая водоема, центр тяжести водосбора, густота речной сети

Лист регистрации изменений

Номер изме-нения	Номер страницы				Номер документа (ОРН)	Подпись	Дата	
	изме-ненной	заме-ненной	новой	аннули-рованной			внесения изменений	введения изменений

Научно-производственное издание

Стандарт организации

СТО ГГИ 52.08.40-2017

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СУШИ И ИХ ВОДОСБОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПО ЦИФРОВЫМ КАРТАМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ

Подписано в печать 15.07.2017. Формат 70x100/16
Тираж 300 экз. Заказ № 170773

Отпечатано в типографии ООО «РПЦ Офорт»

Адрес: Москва, проспект Буденного, дом 21А
E-mail: gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru