

4.5.2. ГИС гидрографической сети и физико-математическая модель водного режима заказника «Званец» и прилегающих земель

Одним из нормативных документов при создании ГИС гидрографической сети является Европейская рамочная водная директива (ЕРВД) (Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy) [117], которая была принята в 2000 году. Этот документ регламентирует подходы в политике охраны, использовании и управлении водными ресурсами и призван гармонизировать и унифицировать подходы стран ЕС и других европейских стран к управлению водными ресурсами и их охране.

Рациональное управление водными ресурсами может быть реализовано только при наличии полной, унифицированной, достоверной и своевременной информации о состоянии и тенденциях изменения водных экосистем или их отдельных компонентов. Системой, обеспечивающей все уровни управления водными ресурсами для определения стратегии природопользования и принятия оперативных решений, являются ГИС [2, 605].

Разработка ГИС гидрографической сети заказника «Званец» и прилегающих земель

Основными объектами любой ГИС являются карты, географические данные и таблицы.

Карта – географическое представление части поверхности. Она может состоять из одного или более списков данных, содержащих определенный тип географических данных. Карты могут быть записаны в цифровой форме. Из цифровых данных можно создать и распечатать аналоговые карты.

Географические данные – это данные, описывающие объекты и явления, которые можно представить в соотношении с поверхностью земли. Собрание географических данных является данными цифровыми, входящими в состав ГИС. Такие термины, как «собрание географических данных», «информационный слой» или «тематический слой», являются синонимами. Слой может быть представлен пикселями, точками, линиями и многоугольниками.

Таблица представляет собой содержание базы описательных данных. Информационные системы требуют организации сбора данных в одну или более таблиц. Колонки таблицы соответствуют полям базы данных, а заголовки таблицы – это отдельные записи базы данных. Для сравнения информации из разных источников таблицы должны иметь идентичную структуру. Таблицы могут включать такие элементы: гидрографические характеристики русел, названия объектов, их местоположение в географических координатах, кодировка рек, дата взятия проб, качество воды, объем забора воды и т. д. Количество полей с данными в таблицах может расти бесконечно по мере работы с ними.

ЕРВД требует от европейских стран предоставления значительного количества информации в форме карт (более 13 слоев и 49 таблиц данных). Наилучшей формой представления требуемой информации является форма тематических слоев ГИС. Это связано с тем, что большинство данных следует представлять в пространственном контексте. Внедрение ЕРВД требует сопоставления географических данных (координат местоположения) с целью как подготовки планов управления водохозяйственной деятельностью в бассейнах, так и подготовки отчетности бассейновых управлений. В первом случае техника ГИС необходима для разработки различных информационных слоев (например, характеристик бассейнов, химического и экологического состояния поверхностных и подземных вод).

На гидрографическую карту на первом (основном) этапе ее создания наносились следующие тематические слои:

- количественный слой, описывающий реки с записанными в базе данных названиями и их кодировкой;
- линейный слой, описывающий расположение, форму и другие геометрические параметры объектов с разделением на отдельные слои таких элементов, как реки, каналы, канализированные реки;
- слой полигонов, описывающий озера и искусственные водохранилища с определением объемов запаса воды, площади водного зеркала и максимальной глубины (при среднем уровне воды), – если такие данные доступны;
- слой полигонов, изображающий водосборы рек, описанных в базе данных такими параметрами, как название и кодировка водотока (или участка водотока), питаемого с этого водосбора, площадь водосбора, ширина, а также по мере возможности топографическими и гидрографическими данными (например, модуль стока), – если такие данные доступны;
- линейный слой, содержащий границы водосборных бассейнов с указанием наименования смежных водосборов.

Для наполнения информацией тематических слоев и баз описательных данных было необходимо определить их источники. Так, для территории заказника «Званец» была сформирована база метаданных (табл. 4.42). В основу разработки ГИС гидрографической сети данной территории были положены уже существующие картографические материалы. В 1984–1988 гг. были подготовлены относительно

более новые топографические карты данного района. Эти картографические материалы благодаря их высокой точности можно использовать как основу для последующей векторизации объектов. В качестве современных данных использованы космические снимки.

Таблица 4.42 – Инвентаризации базы метаданных

| Вид данных | Название данных | Владелец | Содержание | Формат данных, масштаб, система координат | Обновление (год издания, частота актуализации) | Доступ |
|---|---|---|---|---|---|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Карты и атласы | | | | | | |
| Топографические | Оттиски топографических карт | Госкартгеоцентр | - горизонтали; - ситуация | Цифровая карта М 1 : 100000 Тиражные оттиски топографических карт М 1 : 50000 система координат, СК-42, СК-63 | 1993 обновление продолжается | Платно |
| Геологические | Карта четвертичных отложений (Национальный атлас Беларуси) | Белкартография | - границы зон четвертичных отложений | Тиражные оттиски карт М 1 : 500000 географическая система координат | 2002 обновляются по мере появления новой информации | По официальному запросу |
| Гидрологические | Водность рек (Национальный атлас Беларуси) | Белкартография | - водность основных рек | То же | То же | В открытом доступе |
| Гидрографические | Векторная карта гидрографической сети | Госкартгеоцентр | - реки; водохранилища; деление на бассейны и русла; система идентификации | Тиражные оттиски карт М 1 : 50000 система координат СК-42, СК-63 | 1993 обновление продолжается | Платно |
| Почвенные | Карата почв территории Беларуси | РУП «Институт почвоведения и агрохимии» | - типы почв; - границы ареалов почв | Тиражные оттиски карт М 1 : 500000 географическая система координат | 2001 обновляются по мере появления новой информации | По официальному запросу |
| Гидрогеологические | Гидрогеологическая карта, районирование водоносных горизонтов (Национальный атлас Беларуси) | Белкартография | - гидрогеологическая структура территории | Тиражные оттиски карт М 1 : 2000000 географическая система координат | 2002 обновляются по мере появления новой информации | В открытом доступе |
| Пространственные данные | | | | | | |
| Водоёмы (например, водохранилища, пруды) | Перечень с характеристиками | ГО «Брестмелиоводхоз», Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды | - название; - состояние; - местоположение; - линейные размеры | Табличная форма на электронных и бумажных носителях | 2005 обновление раз в 5 лет | По официальному запросу |
| Гидрологические и метеорологические наблюдательно-измерительные пункты | Перечень постов | Брестский областной гидрометеорологический центр | - название; - состояние; - местоположение; - категория | Табличная форма на электронных и бумажных носителях | 2007 обновление ежегодно | То же |
| Охраняемые зоны и территории (например: охранный зона забора воды, охранные зоны водохранилищ, особо охраняемые территории, экологическая сеть Natura 2000) | Перечень с характеристиками Карта особо охраняемых территорий Карты землепользования | Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды Белкартография Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии | - наименование типов охраняемых зон и территорий; - местоположение; - границы | Список на электронных и бумажных носителях Тиражные оттиски карт М 1 : 500000 географическая система координат | 2008 обновление ежегодно обновляются по мере появления новой информации | В открытом доступе |

Преобразование и использование природных ресурсов

| Продолжение таблицы 4.42 | | | | | | |
|--|---|--|---|---|---|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Территории, подверженные наводнениям | Карты территорий потенциального затопления | Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь | - границы зон возможного затопления для различных по водности лет | Тиражные оттиски карт М 1 : 500000 географическая система координат | 2005 обновляются по мере появления новой информации | По официальному запросу |
| Структура хозяйственного использования земель | Карты землепользования | Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии | - границы территорий землепользователей; - виды землепользователей | Тиражные оттиски карт М 1 : 100000 географическая система координат | 2005 обновляются по мере появления новой информации | То же |
| Пункты количественного и качественного мониторинга подземных и поверхностных вод | Перечень постов | Брестский областной гидрометеорологический центр | - название; - состояние; - местоположение; - категория | Табличная форма на электронных и бумажных носителях | 2007 обновление ежегодно | » |
| Гидрографические элементы (например, реки, каналы, канавы, озера, водоразделы) | Перечень с характеристиками | ГО «Брестмелиоводхоз», Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды | - название; - состояние; - местоположение; - линейные размеры | Табличная форма на электронных и бумажных носителях | 2005 обновление раз в 5 лет | » |
| Главные бассейны подземных вод | Карта ресурсов подземных вод (Национальный атлас Беларуси) | Белкартография | - ресурсы подземных вод по административным районам | Тиражные оттиски карт М 1 : 4000000 географическая система координат | 2002 обновляются по мере появления новой информации | В открытом доступе |
| Заборы подземных и поверхностных вод | Карта месторождений подземных вод (Национальный атлас Беларуси) Статистические отчеты | Белкартография Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды РУПП «ЦНИИКИВР» РУПП «Белгеология» | - расположение месторождений подземных вод; - мощность месторождений | Тиражные оттиски карт М 1 : 4000000 географическая система координат Табличная форма на электронных и бумажных носителях | 2002 обновляются регулярно | То же |
| Рыбхозы | Перечень рыбных хозяйств | Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды Главное управление по охране и воспроизводству рыбных запасов и регулированию рыболовства | - расположение; - наименование; - производительность | Список на электронных и бумажных носителях | 2007 обновление ежегодно | По официальному запросу |
| Очистные сооружения, места складирования отходов | Перечень очистных сооружений и места складирования отходов | Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды | - расположение; - наименование; - производительность | Список на электронных и бумажных носителях | 2007 обновление ежегодно | То же |
| Административные единицы | Карта административного районирования РБ (Национальный атлас Беларуси) | Белкартография | - ресурс подземных вод по административным районам | Тиражные оттиски карт М 1 : 1250000 географическая система координат | 2002 обновляются по мере появления новой информации | В открытом доступе |
| Описательные данные | | | | | | |
| Состояние поверхностных и подземных вод (качественный и количественный мониторинг) | Статистические отчеты | Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды | - компьютерная программа; - характеристики вод | Таблица Компьютерная программа | 2008 обновление ежемесячно | По официальному запросу |

| Окончание таблицы 4.42 | | | | | | |
|--|---|---|---|--|--------------------------------|--------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Объем потребления подземных и поверхностных вод, а также выброса сточных вод | Статистические отчеты | Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды | - компьютерная программа; - характеристики вод | Таблица Компьютерная программа | То же | То же |
| Параметры сосредоточенных и распределенных источников загрязнения | Статистические отчеты | Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды | - компьютерная программа; - характеристики веществ | Таблица Компьютерная программа | » | » |
| Данные о воздействиях, связанных со складированием опасных веществ | Статистические отчеты | Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды | - компьютерная программа; - характеристики веществ | Таблица Компьютерная программа | » | » |
| Данные об использовании территории и о водочистительном хозяйстве | Статистические отчеты | Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды | - компьютерная программа; - характеристики вод | Таблица Компьютерная программа | » | » |
| Выданные разрешения на выброс сточных вод и потребления вод | Перечень разрешений и обобщенных данных | Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды | - компьютерная программа; - перечень разрешений | Таблица Компьютерная программа | » | » |
| Данные о количестве и виде веществ, особенно опасных для окружающей водной среды | Перечень | Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды | - характеристики; - наименования | Таблица на бумажных носителях | » | » |
| Данные, касающиеся гидротехнических сооружений, а также мелиорированных территорий | Перечень | ГО «Брестмелиоводхоз» | - характеристики; - наименования | Таблица на бумажных носителях | 2008 обновление ежегодно | » |
| Данные о рыбхозах и о пригодности вод для рыбной ловли | Перечень рыбхозов и водоемов пригодных для рыбозабавления | Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды ГО «Брестмелиоводхоз» | - перечень водоемов; - характеристики | Таблица на бумажных носителях и в электронном виде | 2008 обновление ежегодно | » |
| Экологическое состояние вод реки и его притоков, а также затопляемых территорий | Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь | Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды | - мониторинг земель; - мониторинг поверхностных вод; - мониторинг подземных вод; - мониторинг атмосферного воздуха; - мониторинг лесов; - система социально-гигиенического мониторинга | Печатное издание | 2007 Обновление ежегодно | В открытом доступе |

Все цифровые данные записывались в базу данных ГИС в географических координатах. Геодезической системой сопоставления использовалась WGS 1984 (World Geodetic System 1984 – Всемирная геодезическая система). Такой способ записи дал возможность легко трансформировать данные в новую систему плоских координат. Наиболее оптимально использование системы координат, которая опирается на проекцию Mercator, для которой принята WGS 1984 как геодезическая система соотнесения.

Таким образом, на основе выделенных требований сформирована система координат, имеющая следующие параметры [84]:

проекция: Gauss Kruger, Pulkovo_1942_GK_Zone_5

осевой меридиан $L = 27^\circ$ восточной долготы;

меридиональная полоса между 24 и 30 градусом восточной долготы, охватывающая всю территорию природного комплекса «Званец»;

частный масштаб по осевому меридиану 1,0;

точка пересечения экватора с осевым меридианом имеет координату $X = 5\,500\,000$ м, $Y = 0$ м.

В результате обработки графических материалов (топографических карт, аэрофотоснимков и т. д.) нами создана ГИС гидрографической сети природно-территориального комплекса «Званец» (рис. 4.48).

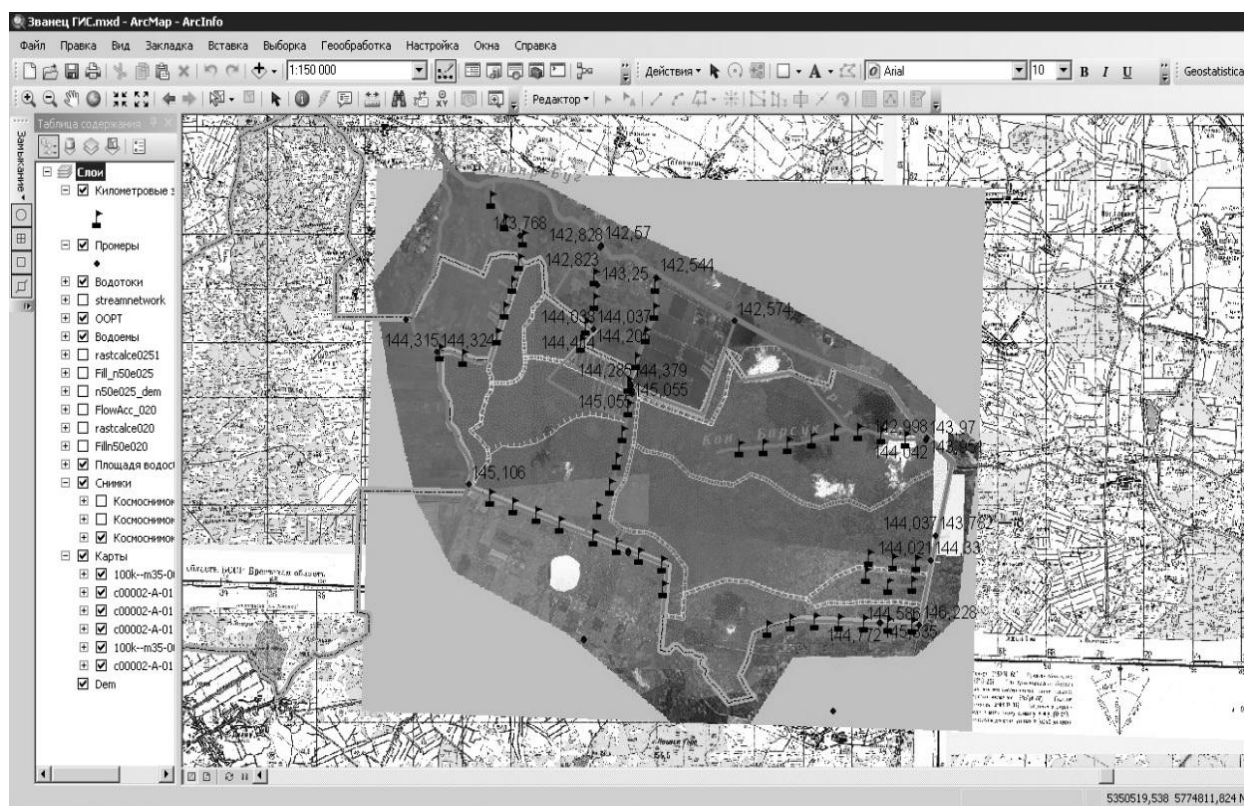


Рисунок 4.48 – Структура и основные элементы ГИС гидрографической сети природно-территориального комплекса «Званец»

Отдельным слоем, отображающим топографическую информацию в районе исследования, являются топографические карты масштаба 1:100 000 и 1:50 000. Для их точного отображения в системе принятых координат выполнены калибровка и преобразование файлов в формате *.jpg в формат *.geotif. Кроме того, с целью снижения смещений в местах соединения смежных карт использовались трансформация и увязка. Слой топографических карт включает 6 файлов GEOTIF (рис. 4.49).

Вторым источником топографической информации являлись аэрокосмические фотоснимки (рис. 4.50) трех наиболее распространенных картографических ресурсов, находящихся в открытом доступе: ESRI, Google, Virtual Earth.

В качестве количественных цифровых линейных объектов созданы слои водотоков, границ водосборов и использован предоставленный слой границ природно-территориального комплекса «Званец». Слой водотоков включает атрибутивную информацию: длины объектов, координат начала, координат конца участка водотока, локальную систему шифрования, учитывающую принадлежность к бассейнам отдельных крупных водотоков, а также поле для записи особенностей гидрологического режима на участках водотока (рис. 4.51).

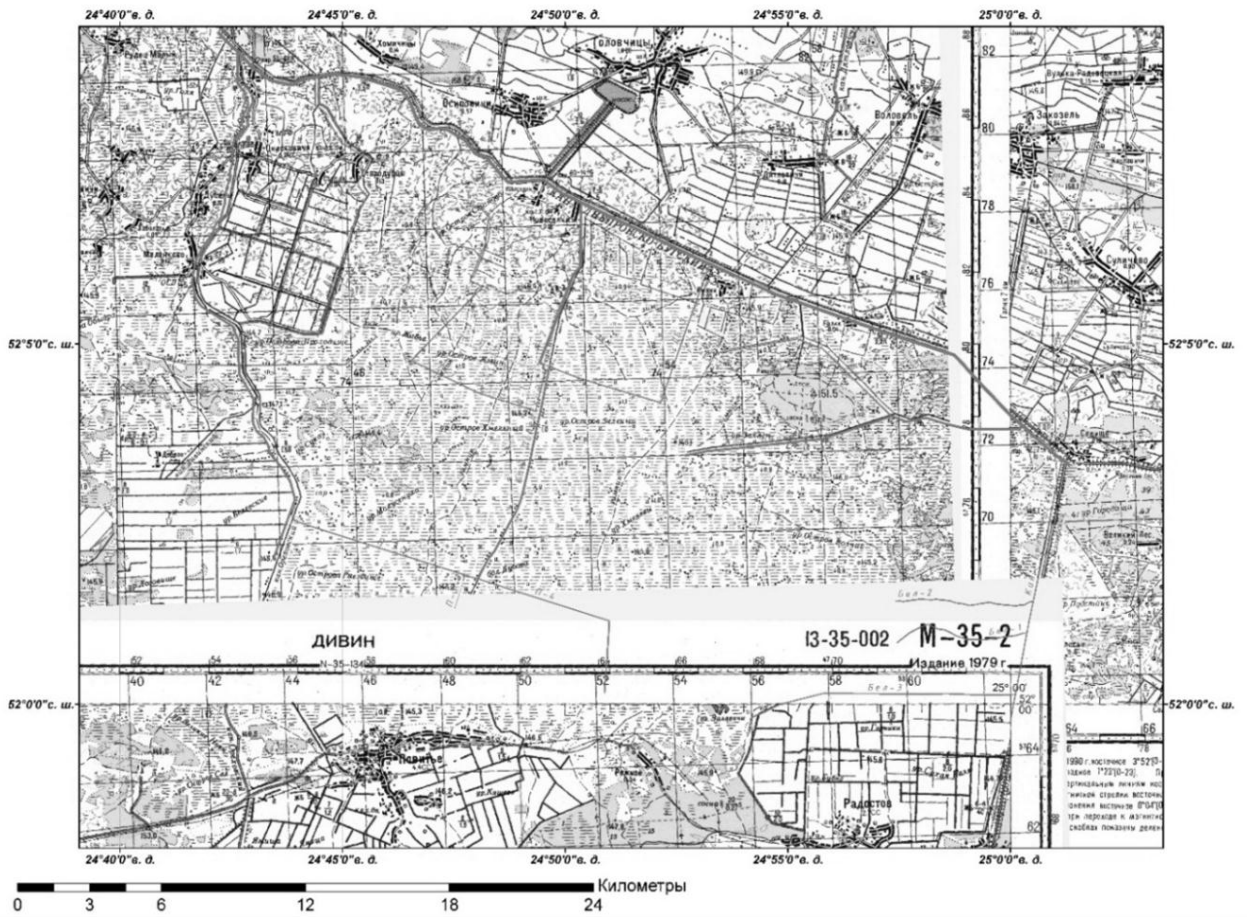


Рисунок 4.49 – Слой топографической информации

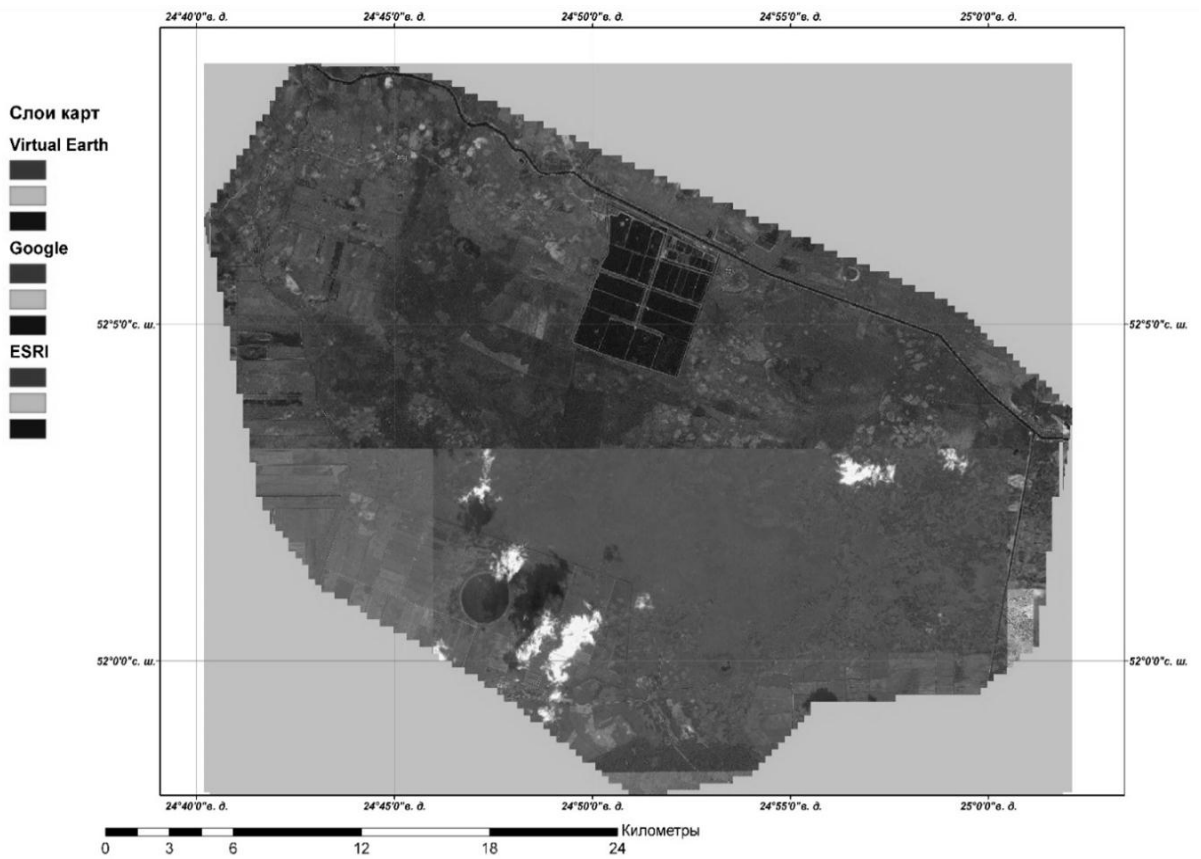


Рисунок 4.50 – Аэрокосмические фотоснимки

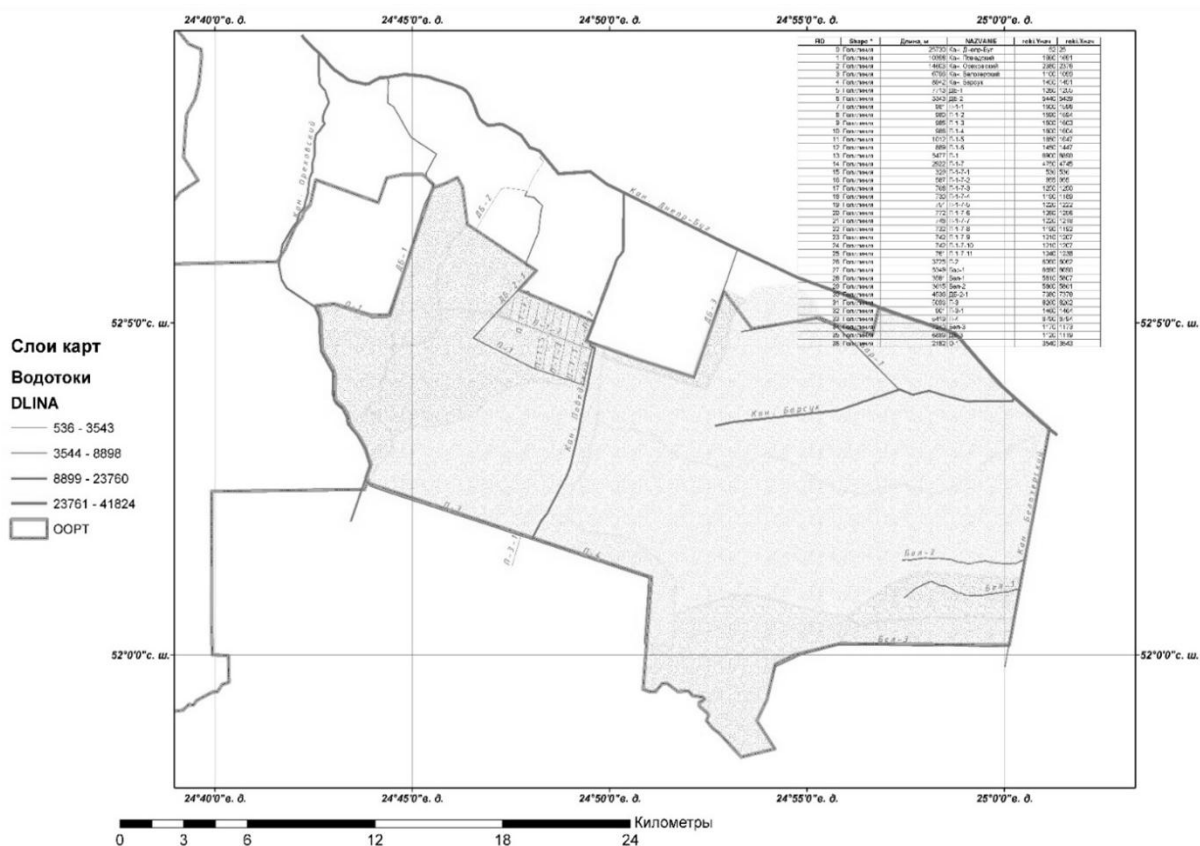


Рисунок 4.51 – Гидрографическая сеть

Таблица 4.43 – Характеристики водотоков в пределах болотного массива «Званец»¹

| Название (код) водотока | Длина в пределах объекта, м | Обслуживаемая площадь в пределах объекта, га | Название (код) водотока | Длина в пределах объекта, м | Обслуживаемая площадь в пределах объекта, га |
|-------------------------|-----------------------------|--|-------------------------|-----------------------------|--|
| кан. Днепр-Буг | 25730 | – | П-1-7 | 2922 | 208,8 |
| кан. Поведский | 10398 | 3742,2 | П-1-7-1 | 329 | – |
| кан. Ореховский | 14603 | – | П-1-7-2 | 587 | – |
| кан. Белоозерский | 6766 | – | П-1-7-3 | 768 | – |
| кан. Барсук | 8942 | 4371,4 | П-1-7-4 | 730 | – |
| ДБ-1 | 7713 | 530,5 | П-1-7-5 | 751 | – |
| ДБ-2 | 3343 | – | П-1-7-6 | 772 | – |
| П-1-1 | 981 | – | П-1-7-7 | 748 | – |
| П-1-2 | 980 | – | П-1-7-8 | 732 | – |
| П-1-3 | 985 | – | П-1-7-9 | 742 | – |
| П-1-4 | 986 | – | П-1-7-10 | 742 | – |
| П-1-5 | 1012 | – | П-1-7-11 | 761 | – |
| П-1-6 | 889 | – | П-2 | 3725 | – |
| П-1 | 5477 | 1263,4 | Бар-1 | 5349 | – |
| П-3 | 5093 | – | Бел-1 | 3581 | 509,6 |
| П-3-1 | 901 | – | Бел-2 | 3615 | 4368,6 |
| П-4 | 5419 | – | ДБ-2-1 | 4536 | 451,3 |
| Бел-3 | 7240 | 1679,5 | О-1 | 2182 | 584,2 |
| ДБ-3 | 6889 | 233,6 | | | |

¹ Принята локальная система кодировок.

Таблица 4.44 – Результаты геодезических измерений¹

| Идентификатор точки | Погрешность измерения | Дата, время измерения | Высоты, приведенные к Балтийской системе |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| 1 | 0,009 | 04/18/2013 08:18:12 | 144,789 |
| 2 | 0,008 | 04/18/2013 08:18:40 | 145,109 |
| 3 | 0,009 | 04/18/2013 08:21:06 | 144,584 |
| 4 | 0,008 | 04/18/2013 08:22:30 | 144,366 |
| 5 | 0,008 | 04/18/2013 08:32:16 | 144,378 |
| 6 | 0,011 | 04/18/2013 08:45:50 | 148,323 |
| 7 | 0,014 | 04/18/2013 09:07:49 | 145,076 |
| 8 | 0,014 | 04/18/2013 09:09:27 | 145,128 |
| 9 | 0,016 | 04/18/2013 09:13:06 | 145,141 |
| 10 | 0,015 | 04/18/2013 09:29:39 | 145,069 |
| 11 | 0,015 | 04/18/2013 09:30:47 | 145,083 |
| 12 | 0,016 | 04/18/2013 09:35:05 | 144,89 |
| 13 | 0,014 | 04/18/2013 09:35:36 | 145,06 |
| 14 | 0,014 | 04/18/2013 09:39:45 | 145,054 |
| 15 | 0,207 | 04/18/2013 09:48:14 | 144,96 |
| 16 | 0,012 | 04/18/2013 09:48:53 | 146,71 |
| 17 | 0,009 | 04/18/2013 09:49:56 | 146,71 |
| 18 | 0,011 | 04/18/2013 09:52:12 | 145,151 |
| 19 | 0,012 | 04/18/2013 09:53:34 | 145,525 |
| 20 | 0,087 | 04/18/2013 09:55:05 | 145,296 |
| 21 | 0,012 | 04/18/2013 09:56:37 | 145,106 |
| 22 | 0,017 | 04/18/2013 10:59:59 | 144,315 |
| 23 | 0,018 | 04/18/2013 11:01:14 | 144,324 |
| 24 | 0,02 | 04/18/2013 11:04:16 | 144,568 |
| 25 | 0,017 | 04/18/2013 11:11:52 | 144,145 |
| 26 | 0,022 | 04/18/2013 11:12:29 | 144,361 |
| 27 | 0,036 | 04/18/2013 12:01:06 | 143,768 |
| 28 | 0,017 | 04/18/2013 12:22:17 | 142,615 |
| 29 | 0,016 | 04/18/2013 12:23:02 | 142,57 |
| 30 | 0,016 | 04/18/2013 12:27:03 | 142,823 |
| 31 | 0,018 | 04/18/2013 12:28:16 | 142,828 |
| 32 | 0,02 | 04/18/2013 13:32:27 | 143,25 |
| 33 | 0,015 | 04/18/2013 13:51:41 | 144,425 |
| 34 | 0,014 | 04/18/2013 13:53:31 | 144,414 |
| 35 | 0,015 | 04/18/2013 13:55:10 | 144,205 |
| 36 | 0,015 | 04/18/2013 14:12:02 | 144,038 |
| 37 | 0,014 | 04/18/2013 14:12:47 | 144,037 |
| 38 | 0,01 | 04/18/2013 14:50:06 | 143,833 |
| 39 | 0,01 | 04/18/2013 14:58:59 | 144,257 |
| 40 | 0,01 | 04/18/2013 15:00:00 | 144,478 |
| 41 | 0,029 | 04/18/2013 15:05:20 | 145,165 |
| 42 | 0,009 | 04/18/2013 15:09:14 | 145,055 |
| 43 | 0,01 | 04/18/2013 15:09:58 | 145,055 |
| 44 | 0,012 | 04/18/2013 15:40:53 | 144,285 |
| 45 | 0,009 | 04/18/2013 15:41:46 | 144,379 |
| 46 | 0,014 | 04/18/2013 15:56:02 | 142,544 |
| 47 | 0,011 | 04/18/2013 16:06:30 | 142,574 |
| 101 | 0,009 | 04/19/2013 09:21:21 | 145,489 |
| 102 | 0,011 | 04/19/2013 10:06:20 | 145,418 |
| 103 | 0,011 | 04/19/2013 10:06:52 | 145,419 |
| 104 | 0,008 | 04/19/2013 11:08:26 | 144,772 |
| 105 | 0,009 | 04/19/2013 11:40:12 | 145,335 |
| 106 | 0,01 | 04/19/2013 11:55:08 | 144,586 |
| 107 | 0,012 | 04/19/2013 11:56:04 | 146,228 |
| 108 | 0,011 | 04/19/2013 12:12:09 | 144,33 |
| 109 | 0,012 | 04/19/2013 12:12:54 | 144,021 |
| 110 | 0,021 | 04/19/2013 12:23:08 | 144,037 |
| 111 | 0,049 | 04/19/2013 12:23:51 | 143,782 |
| 112 | 0,012 | 04/19/2013 12:56:28 | 144,042 |
| 113 | 0,009 | 04/19/2013 12:57:49 | 143,97 |
| 114 | 0,01 | 04/19/2013 12:58:27 | 143,951 |
| 115 | 0,011 | 04/19/2013 13:06:34 | 142,998 |

¹ Фоном выделены точки с высокой погрешностью.

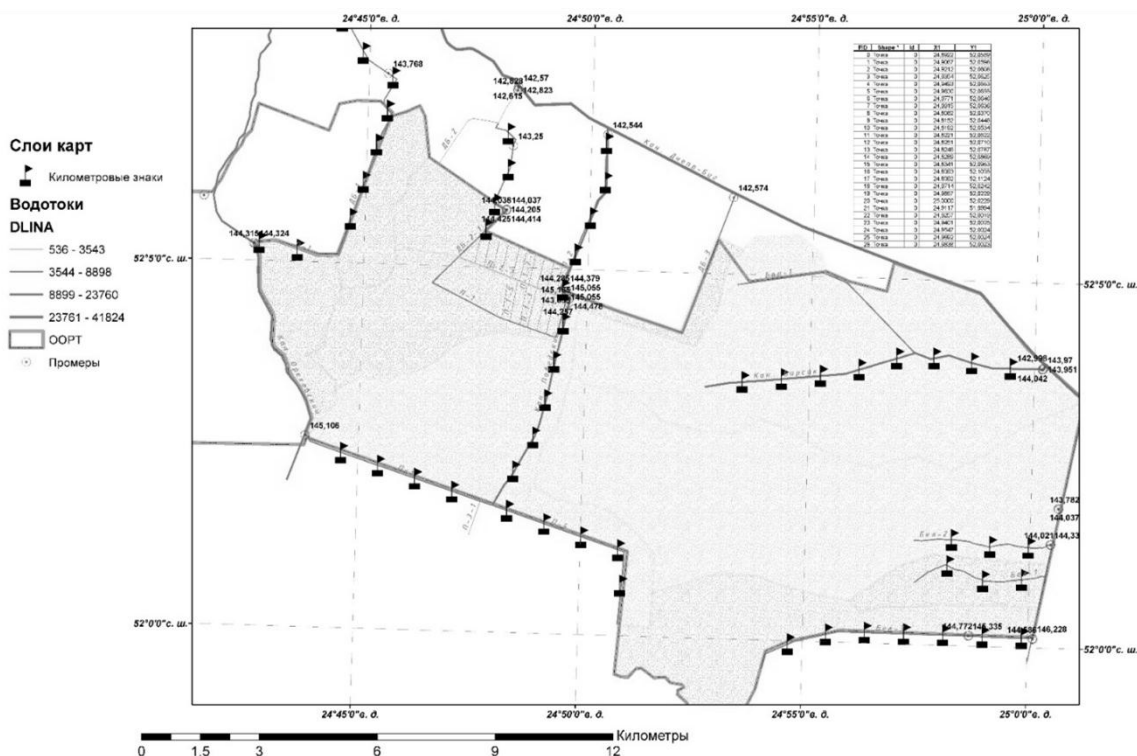


Рисунок 4.52 – Точечные объекты (километровые отметки, нивелировка)

Точечные объекты представлены километровыми знаками по водотокам, предназначенными для проведения изысканий по уточнению параметров и характеристик водотоков в рассматриваемых точках. Кроме того, по результатам инструментальных измерений были определены координаты характерных точек гидрографической сети с записью информации об их высотном положении в Балтийской системе вертикальных координат (рис. 4.52). Результаты нивелировки представлены отдельной таблицей 4.44, подключенной к таблице атрибутивной информации слой промеров.

Физико-математическая модель водного режима территории заказника с учетом влияния минеральных островов, торфа и кочек на движение воды через болото

Исходя из анализа водного режима исследуемой территории определена структура физико-математической модели движения водных масс по водотокам.

На основе анализа рельефных, гидрологических и гидрогеологических условий исследуемой территории определена структура физико-математической модели движения водных масс. В этом случае предполагается, что движение поверхностных вод в маловодный период происходит в руслах существующих водотоков (табл. 4.43), а в период прохождения паводка или половодья движение водных масс происходит в руслах водотоков и вдоль них непосредственно по пойменной части водосбора.

При движении вода по пойме ее гидравлические характеристики и сам расчетный расход рассматриваются отдельно. Незначительная непараллельность направлений стока воды в русле и на пойме учитывается показателем косины потока, который устанавливается на основе разработанной карты структуры поверхностного стока (рис. 4.53). Так, при величине угла α до 90° расход, формирующийся на пойме, прибавляется, а при величине α более 90° – отнимается. Расчет расхода, $\text{м}^3/\text{с}$, ведется по формуле:

$$Q = Q_{\text{русл}} + Q_{\text{пойм}} \cdot \cos \alpha, \quad (4.32)$$

где $Q_{\text{русл}}$ – расход воды в русловой части, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{пойм}}$ – расход воды в пойменной части водотока, $\text{м}^3/\text{с}$; α – угол между направлением стока в русле и на пойме.

Расход воды для русловой и пойменной частей вычисляется на основе уравнения Шези-Базена:

$$Q_{\text{русл/пойм}} = \omega_{\text{русл/пойм}} \frac{87}{1 + \frac{\gamma_{\text{русл/пойм}}}{\sqrt{R_{\text{русл/пойм}}}}} \sqrt{R_{\text{русл/пойм}}} \cdot i, \quad (4.33)$$

где $\omega_{\text{русл/пойм}}$ – площадь живого сечения русловой/пойменной частей водотока, м^2 , $R_{\text{русл/пойм}}$ – гидравлический радиус русловой/пойменной частей водотока, м $\gamma_{\text{русл/пойм}}$ – коэффициент шероховатости

по Базену русловой/пойменной частей водотока; i – средний уклон поверхности земли на расчетных интервалах.

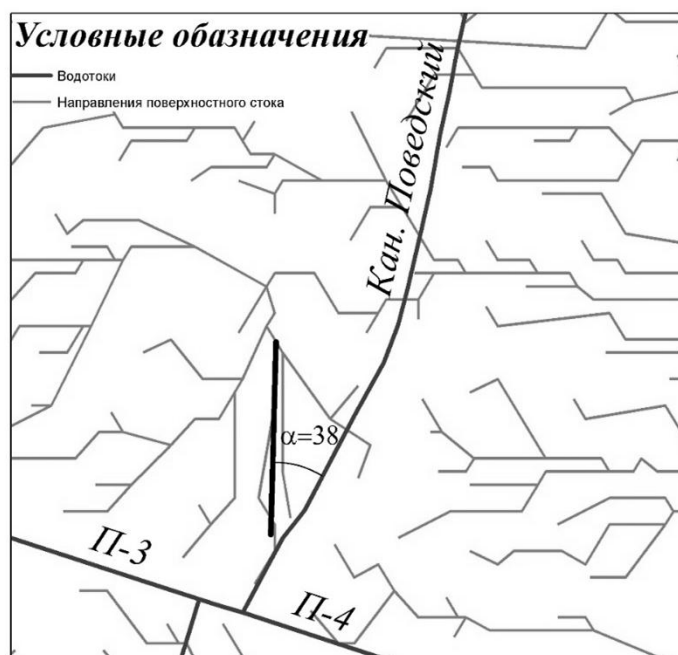


Рисунок 4.53 – Схема определения направления движения воды на пойме (канал Поведский ПК 0 – ПК 2)

Особенности применения уравнения (4.33) заключаются в необходимости выполнения натуральных измерений поперечного профиля русла и поймы водотока. Расстояние между промерными створами зависит от решаемых задач. В случае необходимости моделирования положения кривой подпора или спада интервалы должны быть в пределах прогнозируемой ее длины. В общих случаях кривая подпора при уклонах водотока i менее критических $i_{кр}$ составляет в пределах 1...2 км. Поэтому расстояние между расчетными створами принимается 1 км, что позволяет снизить влияние измененного уровня в нижележащих створах. При этом принятый шаг позволит учесть особенности увеличения площади водосбора по длине водотока. Используя дискретную функцию

$$F = f(L), \quad (4.34)$$

отражающую зависимость площади водосбора F от расстояния до истока L , имеем возможность для любого пикета получить площадь водосбора.

Выполнив анализ условий формирования весеннего половодья для территории заказника «Званец», мы составили гидрографы стока различной обеспеченности (водности лет). Гидрографы весеннего половодья составлены по типовым графикам для данного гидрологического района. Дискретность гидрографов составляет 1 сутки (рис. 4.54).

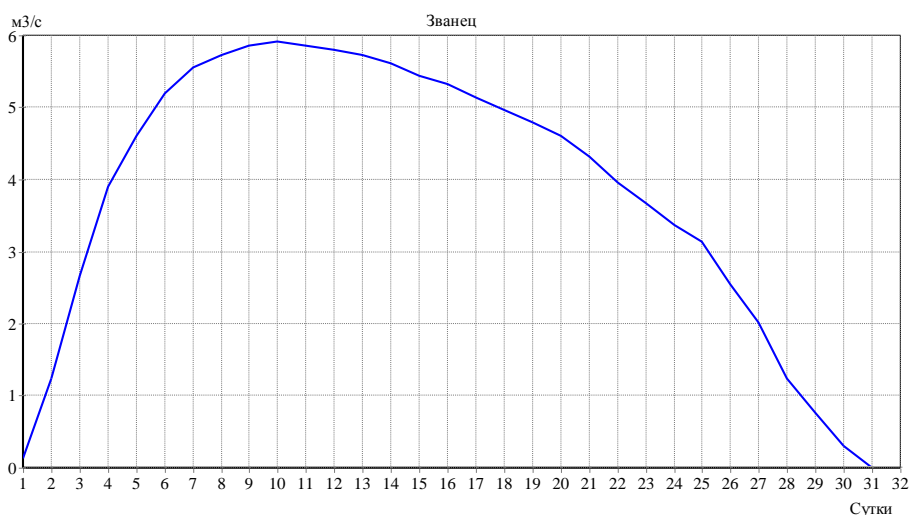


Рисунок 4.54 – Гидрограф весеннего половодья 10%-ной обеспеченности для условного водосбора площадью 10 км²

Используя расчетные гидрографы, аналогичные приведенному на рисунке 4.55, вычисляют среднесуточные модули стока $q_{\text{сут}}$, $(\text{м}^3/\text{с})/\text{км}^2$, для соответствующих обеспеченностей. Таким образом, получаем дискретную функцию, аналогичную (4.34), для расхода воды в водотоках по пикетам. Общий вид функции:

$$Q = f(L, q_{\text{сут}}), \quad (4.35)$$

Для выполнения моделирования наполнения русла по формуле (4.33) необходимо получить статистическую зависимость отметки воды в расчетном створе от расхода воды, сформировавшегося выше по течению. Математическая обработка данных промеров поперечных сечений по пикетам выполняется по описанному ниже алгоритму.

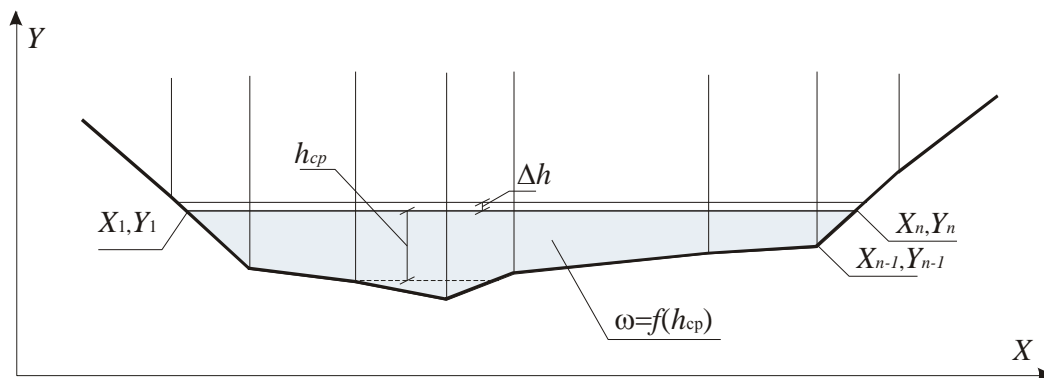


Рисунок 4.55 – Схема численной обработки данных промерных работ

Анализ современных методов математического моделирования показал: для решения поставленной задачи наиболее приемлемыми являются имитационные и численные методы: метод Монте-Карло, численное интегрирование, итерационное решение уравнений и т. п.

Для определения средней глубины потока и его средней скорости для расходов воды различной обеспеченности в отдельном створе необходимо решить две отдельные задачи [592]:

- организовать временный (для разовых наблюдений) водомерный пост и измерить основные характеристики потока;
- определить водность года исследуемого водотока.

Обустройству водомерного поста предшествует выбор участка реки и места для установки оборудования. Предварительно надо всесторонне ознакомиться с районом по литературным данным, архивным материалам и иным источникам, а также провести рекогносцировочное обследование реки.

Рекогносцировочное обследование производится не только в пределах намеченного участка, а значительно шире. Длина участка рекогносцировочного обследования определяется с учетом местных условий и особенностей водного объекта. Рекогносцировка участка обычно выполняется во время летней межени, когда наилучшим образом можно охарактеризовать рельеф русла, поймы и берегов, растительность, грунты и т. п. Характеристику состоянию реки в половодье и зимний период дают путем опроса местного населения.

На основе результатов стандартных гидрометрических работ определяют отметки характерных точек русла и поймы водотока, по которым строится поперечный профиль, и вычисляют площади поперечного сечения, смоченный периметр и гидравлический радиус для различной глубины наполнения [48]. При этом рекомендуют использовать расчетную формулу вычисления площади многоугольника вида

$$\omega = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i (y_{i+1} - y_{i-1})), \quad (4.36)$$

$$\chi = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2} \quad (4.37)$$

где x_i и y_i – координаты i -той точки рассматриваемого многоугольника (см. рис. 4.55), м; n – количество точек многоугольника.

Приращение глубины принимается в зависимости от выраженности рельефа дна водотока, но рекомендуется принимать количество итераций $\tau > 50$, тогда $\Delta h = \frac{Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}}}{\tau}$. Аналогично определяется зависимость смоченного периметра χ и гидравлического радиуса R .

Используя полученные массивы $[\omega, h_{cp}]$ и $[R, h_{cp}]$, выполняют оценку параметров регрессионной модели вида

$$\omega = \alpha_{\omega} \cdot (h_{cp} - h_{cp}^{meas})^2 + \beta_{\omega} \cdot (h_{cp} - h_{cp}^{meas}) + \omega^{meas}, \quad (4.38)$$

$$R = \beta_R \cdot (h_{cp} - h_{cp}^{meas}) + R^{meas}, \quad (4.39)$$

где α, β – константы регрессионного уравнения.

Одновременно с обработкой данных гидрометрических измерений производится отслеживание прироста гидравлического радиуса с увеличением наполнения русла с целью определения момента затопления поймы водотока. Так как ранее указывалось, что общий расход определяется суммой расхода на пойме и в русле, то определять гидравлические характеристики подтока для каждой из частей необходимо по отдельности. Определение момента выхода воды на пойму осуществляется исходя из условия

$$R_{i-1} > R_i + \Delta h \frac{\tau}{10 + \frac{\tau}{5K10}}, \quad (4.40)$$

где R_{i-1}, R_i – гидравлический радиус соответственно на i и $i-1$ итерации.

Определение зависимости площади живого сечения от средней глубины в форме функции вида (4.38) дает возможность численного решения уравнения Шези по средней глубине потока

$$Q_{P\%} = \omega_{P\%} C_{P\%} \sqrt{R_{P\%} i}, \quad (4.41)$$

где $C_{P\%}$ – коэффициент Шези, $m^{0.5}/c$; $i = i_0$ – гидравлический уклон, при равномерном установившемся движении можно принять как средний уклон дна водотока (первое допущение).

Уравнение (4.41) можно записать как систему уравнений

$$\begin{cases} Q_{P\%} = \omega_{P\%} C_{P\%} \sqrt{R_{P\%} i} \\ \omega_{P\%} = \alpha_{\omega} \cdot h_{cp P\%}^2 + \beta_{\omega} \cdot h_{cp P\%} + \varphi_{\omega} \\ R_{P\%} = \alpha_R \cdot h_{cp P\%}^2 + \beta_R \cdot h_{cp P\%} + \varphi_R \\ C_{P\%} = \frac{R_{P\%}^{2,5\sqrt{n}-0,13-0,75\sqrt{R_{P\%}}(\sqrt{n}-0,1)}}{n} \end{cases} \quad (4.42)$$

Как видно из уравнения (4.42), мы имеем количество неизвестных больше, чем количество уравнений. Исходя из этого, предполагаем (второе допущение), что измеренные значения гидравлических характеристик стока $Q_{изм}, R_{изм}, \omega_{изм}, C_{изм}, i$ и искомая средняя глубина воды заданной обеспеченности относятся к одному гидрологическому сезону. В результате можно определить шероховатость русла водотока, используя формулу Н. Н. Павловского [554, 604]

$$C_{изм} = \frac{R_{изм}^{2,5\sqrt{n}-0,13-0,75\sqrt{R_{изм}}(\sqrt{n}-0,1)}}{n}, \quad (4.43)$$

где $C_{изм} = \frac{Q_{изм}}{\omega_{изм} \sqrt{R_{изм} i}}$ – коэффициент Шези [278], определяемый на основе измеренных значений

расхода и параметров поперечного сечения русла водотока, $m^{0.5}/c$.

Формула Н. Н. Павловского принята как наиболее устойчивая в условиях малых значений гидравлического радиуса. Аналогичная ей формула И. И. Агроскина нередко дает отрицательные значения коэффициента Шези при малых гидравлических радиусах, и в нашем случае не применима.

Также необходимо отметить, что при численном решении уравнения (4.42) необходимо учитывать границы применимости регрессионных уравнений, то есть решение данного уравнения должно находиться в пределах $0 < h_{cp P\%} < h_{cp max}$, так как экстраполяция данных зависимостей может привести к ошибочным результатам.

Описанные выше подходы и методы описания гидравлического режима открытых водотоков реализованы с помощью математического программирования в компьютерной программе Wolfram Mathematica 7.

В результате выполнения работы разработана гидрологическая ГИС ландшафтного заказника «Званец», которая позволяет реализовать схему управления заказником в части оптимизации водного режима на болоте, способствующего сохранению популяции вертлявой камышевки. Разработанная методика позволяет выполнить расчеты расходов воды, проходящей в руслах водотоков на болоте и на пойме. В конечном итоге осуществляется переход от расходов воды к уровням воды в каналах и на пойме в различных пикетах. Обеспечение поддержания уровней воды на болоте в пределах контрольных отметок в различные гидрологические периоды будет соответствовать пропуску соответствующих установленных расходов через гидротехнические сооружения.

4.5.3. Схема управления водным режимом территории заказника «Званец»

Конечной целью работы является оценка текущего состояния гидролого-климатических и гидрогеологических характеристик территории ландшафтного заказника «Званец» с учетом существующего состояния мелиоративной сети и гидротехнических сооружений, разработка схемы управления водным режимом, позволяющей создать условия для естественного восстановления популяций флоры и фауны.

Управление водным режимом территории заказника осуществляется имеющимися на мелиоративной сети гидротехническими сооружениями, позволяющими с учетом инерционности эффекта от их работы в различные по водности годы обеспечить регулирование уровня режима грунтовых и поверхностных вод в пределах, близких к естественным и оптимальным для развития флоры и фауны.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- выявление особенностей формирования водного режима исследуемой территории на основе ГИС;
- описание уровня режима грунтовых и поверхностных вод исследуемой территории, позволяющего способствовать восстановлению структуры и динамики естественной флоры и фауны;
- оценка существующих и разработка новых (адаптированных) способов управления водным режимом территории;
- имитационное моделирование водного режима территории заказника с учетом разработанных мероприятий под управлением комплексом инженерных сооружений.

Расчетные гидрологические характеристики болота «Званец»

При отсутствии данных гидрологических наблюдений в расчетном створе применяют региональные методы расчета гидрологических характеристик, основанные на результатах обобщения данных гидрометеорологических наблюдений в районе проектирования. В такой ситуации параметры распределения и расчетные значения определяют с помощью следующих основных методов:

- водного баланса;
- гидрологической аналогии;
- осреднения в однородном районе;
- построения карт изолиний;
- построения региональных зависимостей стоковых характеристик от основных физико-географических факторов водосборов;
- построения зависимостей между погодичными стоковыми характеристиками и стокоформирующими факторами.

Максимальный сток воды рек

Методы определения расчетных характеристик максимального стока весеннего половодья и дождевых паводков подразделяют на следующие:

- а) при наличии одной или нескольких рек-аналогов;
- б) при отсутствии рек-аналогов.

Значения параметров и коэффициентов в расчетных формулах следует уточнять на основе использования гидрометеорологической информации за весь период наблюдений, включая последние годы. Выбор рек-аналогов следует проводить с соблюдением условий

$$\frac{L}{A^{0,56}} \approx \frac{L_a}{A_a^{0,56}}, \quad (4.44)$$

$$i \cdot A^{0,50} \approx i_a \cdot A_a^{0,50}, \quad (4.45)$$

где L и L_a – длина исследуемой реки и реки-аналога соответственно, км; i и i_a – уклон водной поверхности исследуемой реки и реки-аналога, промиле; A и A_a – площади водосборов исследуемой реки и реки-аналога соответственно, км².