



# Методика автоматизированного проектирования содержания фенологической карты

Е.И. Карюкина<sup>1</sup>✉, С.А. Крылов<sup>1</sup>, В.П. Савиных<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия  
✉ karyukina@cartlab.ru

**ЦИТИРОВАНИЕ** Карюкина Е.И., Крылов С.А., Савиных В.П. Методика автоматизированного проектирования содержания фенологической карты // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2023. Т. 67. № 4. С. 90–101. DOI:10.30533/GiA-2023-035.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** фенологические карты, картографическая база данных, тематическая база данных

**АННОТАЦИЯ** В статье рассматривается современное состояние фенологического картографирования. Определены нерешенные задачи по автоматизации процесса определения содержания фенологической карты на картографируемую территорию: обоснованный выбор отображаемых на карте фенологических индикаторов, определение дат наступления фенологических явлений, согласование общегеографического и тематического содержания карты, выбор цветового оформления карты. Предлагается универсальная методика автоматизированного проектирования содержания фенологической карты, состоящая из следующих этапов: выбор картографируемой территории, фенологических сезонов и субсезонов; определение фенологических индикаторов на выбранную территорию; выбор картографического издания, проектирование математической основы; разработка тематического содержания; проектирование общегеографической основы фенологических карт. Методика направлена на оперативное обеспечение широкого круга потребителей достоверными, современными и информативными фенологическими картами. В основу методики положено использование разнообразных источников, формирование картографической и тематической баз данных, применение современных ГИС-технологий и методов геоинформационного картографирования. Универсальность методики заключается в создании карт различных фенологических явлений и учете вида создаваемого картографического произведения (карта/серия

карт, атлас, картографический веб-сервис). Методика может применяться в тематическом, атласном и веб-картографировании. Особое значение методика имеет в мультимасштабном тематическом картографировании для проектирования тематического и общегеографического содержания на разные масштабные уровни фенологической карты.

## 1 Введение

Тематическое картографирование природных и социально-экономических явлений является востребованным на сегодняшний день направлением картографии. Одной из перспективных задач картографирования природы является создание фенологических карт, содержащих в основном информацию о сезонной изменчивости органического мира и отображающих динамику явлений природы и других показателей циклической ритмики ландшафтов и их компонентов. Назначение фенологических карт довольно разнообразно, они могут применяться в лесном, сельском и охотничьем хозяйствах, в отраслях промышленности, для целей экологического анализа, в здравоохранении и медицине и т. п.<sup>1</sup> [1].

На сегодняшний день больше всего фенологических карт можно найти в изданных атласах. Наиболее представительны такие карты представлены в комплексных региональных атласах, также карты данной тематики встречаются в национальных атласах небольших по площади государств. В современных электронных и ГИС-атласах фенологические карты практически не представлены, что, возможно, связано с недостаточной сетью фенологических наблюдений. Среди национальных атласов, содержащих фенологические карты, можно отметить Национальный Атлас Республики Беларусь (2002 г.) и Национальный Атлас Республики Кореи (2016 г.).

В комплексных региональных атласах фенологические карты занимают весомое место: из проанализированных более 50 атласов на территорию субъектов РСФСР и РФ, союзных республик СССР и их субъектов — более 75 % имеют фенологические карты.

К сожалению, разработка фенологических карт в настоящее время практически не ведется, несмотря на восстановление фенологической сети и проведение Русским географическим обществом (РГО) фенологических наблюдений. Что касается научно-методической обеспеченности фенологического картографирования, то следует отметить, что общие принципы составления фенологических карт были установлены еще в 60–80-ые годы XX века, основные теоретические и практические разработки по данному направлению представлены в трудах В.А. Батманова<sup>2,3</sup>, Г.С. Малышевой<sup>4,5</sup>, Г.Э. Шульца<sup>1,6,7</sup>. Среди современных работ по фенологическому картографированию можно отметить работы [1–6], по фенологии — работы [7–9].

1 Комплексные региональные атласы / под. ред. К.А. Салищева. Москва: Московского ун-та, 1976. 638 с.

2 Батманов В.А. Календари природы СССР. Москва: МОИП. 1949. 67 с.

3 Батманов В.А. Фенологическая карта СССР «Начало цветения черемухи (на юге-вишни)». М.: Сиб. геогр. сб. №1, 1962.

4 Малышева Г.С. Методическое руководство по составлению фитофенологических карт. Ленинград: Наука, 1968. 69 с.

5 Малышева Г. С. Новые фенологические карты // Геоботаническое картографирование, 1964. С. 96–101.

6 Шульц Г.Э. Фенологические карты и возможности их применения в геоботанике // Принципы и методы геоботанического картографирования. Ленинград: АН СССР, 1962. 104 с.

7 Шульц Г.Э. Общая фенология. Ленинград: Наука. 1981. 188 с.

В настоящее время при создании любых тематических карт, в том числе и фенологических, широко используются геоинформационные системы и технологии, позволяющие автоматизировать трудоемкие процессы. В фенологическом картографировании ГИС-технологии применяются, в первую очередь, для обработки и анализа статистических данных по выбранному фенологическому индикатору, а также для автоматизированного построения поверхности выбранным методом интерполяции и создания изолиний [1, 3, 6]. Однако, остаются нерешенными задачи по автоматизации процесса определения содержания фенологической карты на картографируемую территорию. В первую очередь, это касается обоснованного выбора отображаемых на карте фенологических индикаторов, в том числе в зависимости от природных и экономических показателей территории. Также, в связи с недостаточными фенологическими наблюдениями в России, возникает задача автоматизированного определения дат наступления фенологических явлений. Кроме того, можно отметить задачи автоматизированного согласования общегеографического и тематического содержания карты и автоматизированного выбора цветового оформления карты.

## 2 Материалы и методы

Для автоматизированного проектирования содержания фенологических карт разработана методика, состоящая из нескольких этапов. Информационным обеспечением фенологического картографирования служат картографическая и тематическая базы данных. Картографическая база данных представлена векторными слоями, в пределах которых могут быть созданы фенологические карты: административно-территориальное деление; населенные пункты; природные страны и провинции; особо охраняемые природные территории (ООПТ), земельные угодья, водоемы и реки. По необходимости данный перечень может быть расширен. Также картографическая база данных содержит общегеографическую информацию, необходимую для создания географической основы. В тематическую базу данных целесообразно включать следующие информационные слои: фенологические наблюдения, сформированные на основе различных источников (например, базы данных фенологических наблюдений РГО<sup>8</sup>); метеостанции с данными по температуре воздуха, атмосферным осадкам, температуре почвы; ландшафтная карта; места обитания диких животных; места выпаса скота, маршруты перелетов сезонных птиц; растительный покров.

Отдельное место в информационном обеспечении занимает сформированная справочно-поисковая система изданных карт и атласов, содержащая информацию об их структуре, а также перечень общегеографических и тематических карт [10]. Справочно-поисковая система позволяет при проектировании содержания карты учесть опыт фенологического картографирования на заданной территории, определить наиболее востребованные темы карт и фенологические индикаторы.

<sup>8</sup> Портал Фенологической сети Русского географического общества. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fenolog.rgo.ru> (дата обращения: 01.04.2022).

Для определения необходимости отображения на карте агрофенопоказателей, необходимо использовать статистические данные. Так для определения сельскохозяйственных культур, выращиваемых на картографируемой территории, следует использовать данные о структуре посевных площадей сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий.

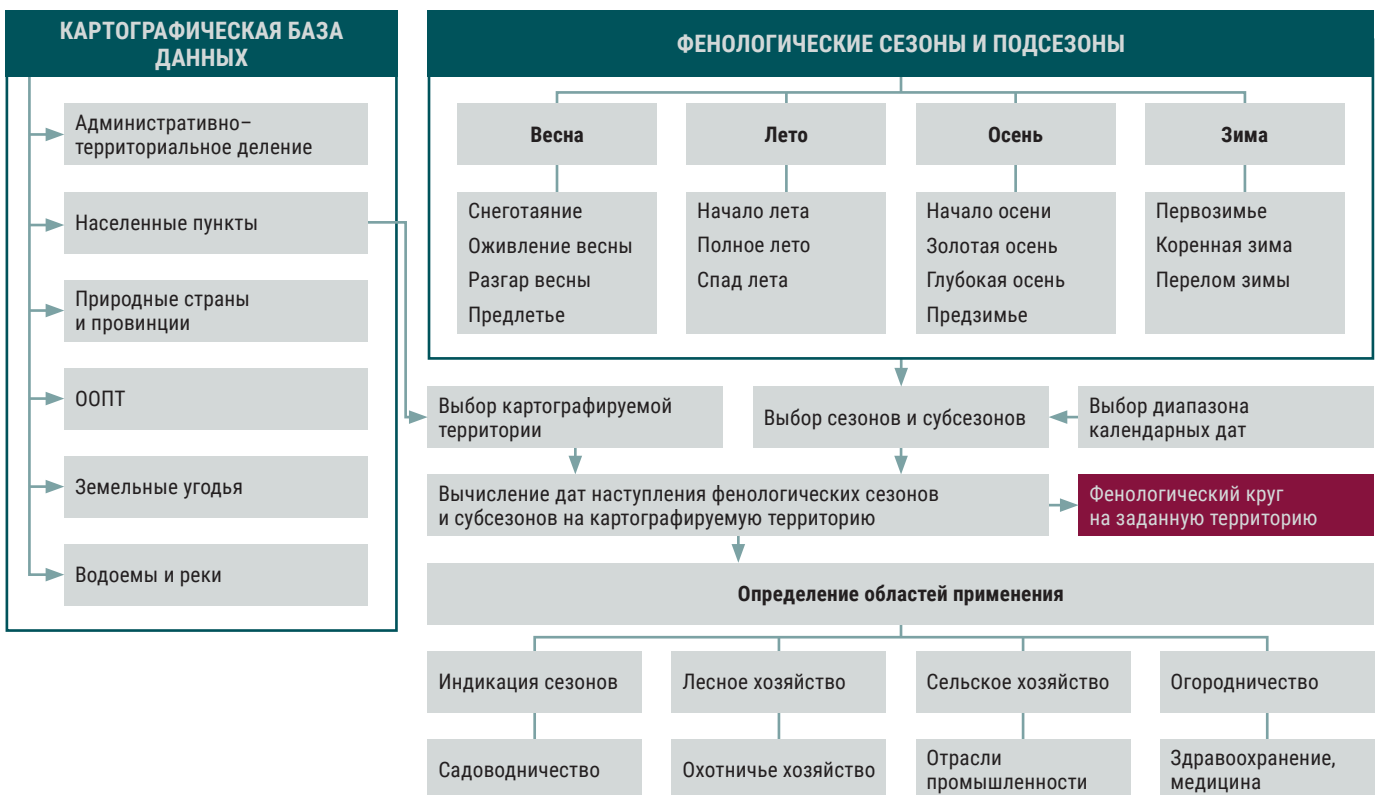
Объединение между собой различных источников и их интеграция в картографическую базу данных происходит путем формирования реляционных связей на основе использования уникальных кодов объектов и характеристик: субъекта РФ, вида фенологического наблюдения, вида фенологического показателя, области применения, фенологического сезона и субсезона и др.

Рассмотрим подробнее этапы разработанной методики.

## 2.1 Выбор картографируемой территории, фенологических сезонов и субсезонов

На начальном этапе методики (Рис. 1) на основе картографической базы данных происходит выбор картографируемой территории, в качестве которой могут выступать регионы РФ, природные страны и провинции, населенные пункты, заповедники и заказники, крупные водоемы и реки, земельные угодья и т.п. Также необходимо выбрать фенологические сезоны/субсезоны, на которые требуется создать карты. Фенологи делят год на следующие сезоны: весна, лето, осень, зима, каждый из которых разделяются на субсезоны – характерные периоды, ограниченные рубежными явлениями живой природы. Продолжительность сезонов и субсезонов в значительной степени зависит от географического положения

**Рис. 1** Выбор картографируемой территории, фенологических сезонов и субсезонов.



местности и ландшафта. Например, весна в европейской части России делится на четыре периода (снеготаяние, оживление весны, разгар весны и предлетье), каждый из которых имеет свои характерные особенности и индикационные явления (индикаторы). Вместо выбора сезона/субсезона возможно указать и диапазон дат. В этом случае на основе выбранной картографируемой территории можно вычислить даты наступления фенологических сезонов и субсезонов, которые позволят сформировать фенологический круг, состоящий из соответствующих секторов<sup>6,9</sup>.

Также на первом этапе методики следует определить и задать из списка значений область применения разрабатываемых фенологических карт. Анализ изданных фенологических карт и специализированной научно-технической литературы позволил определить основные области применения: индикация сезонов, лесное хозяйство, сельское хозяйство, огородничество, садоводство, охотничье хозяйство, отрасли промышленности.

## 2.2 Определение фенологических индикаторов на выбранную территорию

На втором этапе методики (Рис. 2) в автоматизированном режиме определяются возможные фенологические индикаторы, которые присутствуют на выбранной территории и могут быть отображены на проектируемой карте. Фенологические индикаторы (феноиндикаторы) — это такие легко и точно отмечаемые сезонные явления природы, которые в силу их органической связи с соответствующей геосистемой указывают на сезонное состояние геосистемы в целом или отдельных ее компонентов<sup>10</sup>. Феноиндикаторы могут быть частными, указывающими на сезонное состояние отдельных компонентов геосистемы, а также геосистемными, указывающими на сезонное состояние геосистемы в целом. Следует отметить, что на данном этапе выбираются не сами сезонные явления, а непосредственно объекты живой природы (например, береза, липа, рожь, ласточки и т.п.), которые присутствуют на выбранной территории.

Для выявления недостающих индикаторов на картографируемой территории целесообразно учитывать прилегающие территории: либо соседние субъекты РФ, либо субъекты, попадающие в построенную буферную зону как вокруг контура картографируемой территории, так и вокруг ее габаритов. С целью поиска феноиндикаторов это позволит использовать статистические данные и справочно-поисковую систему изданных фенологических карт, которые формируются по административному принципу.

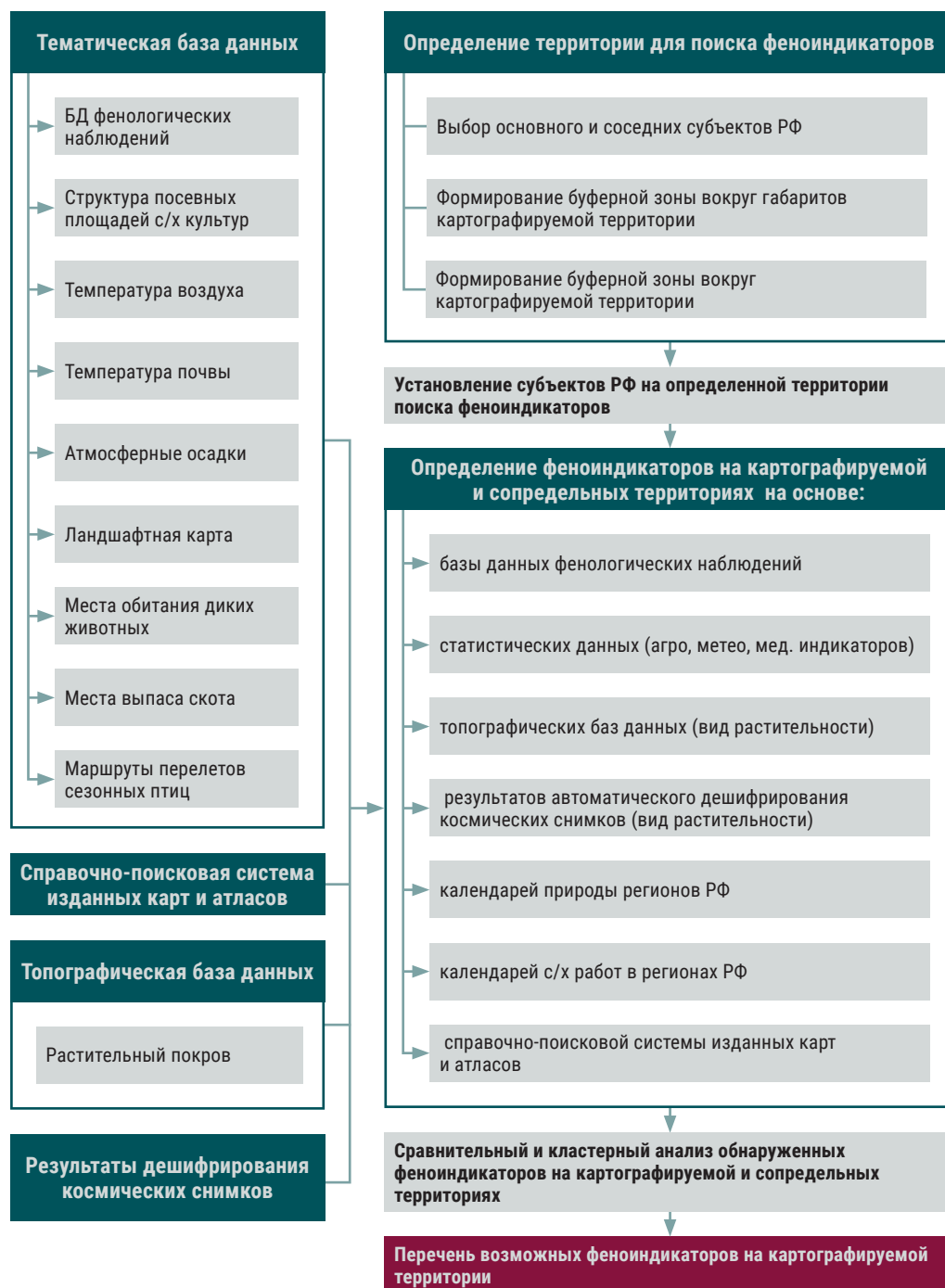
Автоматизация процесса определения феноиндикаторов на картографируемой и сопредельных территориях осуществляется в ГИС с помощью оверлейного анализа геоданных, полученных из следующих источников:

- базы данных фенологических наблюдений;
- статистические данные (агро, метео, мед. индикаторы);
- топографические базы данных (вид растительности);
- результаты автоматического дешифрирования космических снимков (вид растительности);

9 Стрижев А.Н. Календарь русской природы. М.: Моск. Рабочий, 1973. 272 с.

10 Харин Н.Г., Кирильцева А.А., Грингоф И.Г. Сезонные явления природы. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 136 с.

**Рис. 2** ➔  
Определение фенологических индикаторов на выбранную территорию.




— справочно-поисковая система изданных карт и атласов; и др. Также следует использовать и табличные данные в виде календарей природы регионов РФ, календарей с/х работ в регионах РФ.

### 2.3 Выбор картографического издания. Проектирование математической основы

На третьем этапе методики (Рис. 3) выполняется выбор картографического издания (атлас, карта/серия карт, картографический веб-сервис) и осуществляется проектирование математической основы. Так, для атласа



математическая основа устанавливается после проектирования структуры атласа. Для отдельной карты/серии карт на основе формата листа разрабатывается макет компоновки, вычисляется масштаб карты и выбирается картографическая проекция. (масштаб – вычисляется тоже по формату листа). При разработке мультимасштабной карты для картографического веб-сервиса масштабный ряд выбирается по одному из следующих вариантов: либо по принципу двухкратного уменьшения, либо применяется традиционный ряд топографических карт. При этом следует отметить, что на веб-картах используется не масштаб, а уровень детализации (от 1 до 20). Использование на картографических веб-сервисах нормальной равноугольной проекции Меркатора (EPSG:3395, EPSG:3857) приводит к тому, что главный масштаб точно соответствует своему уровню детализации только на экваторе и вблизи него, а в северном и южном направлении от экватора происходит рост частного масштаба.

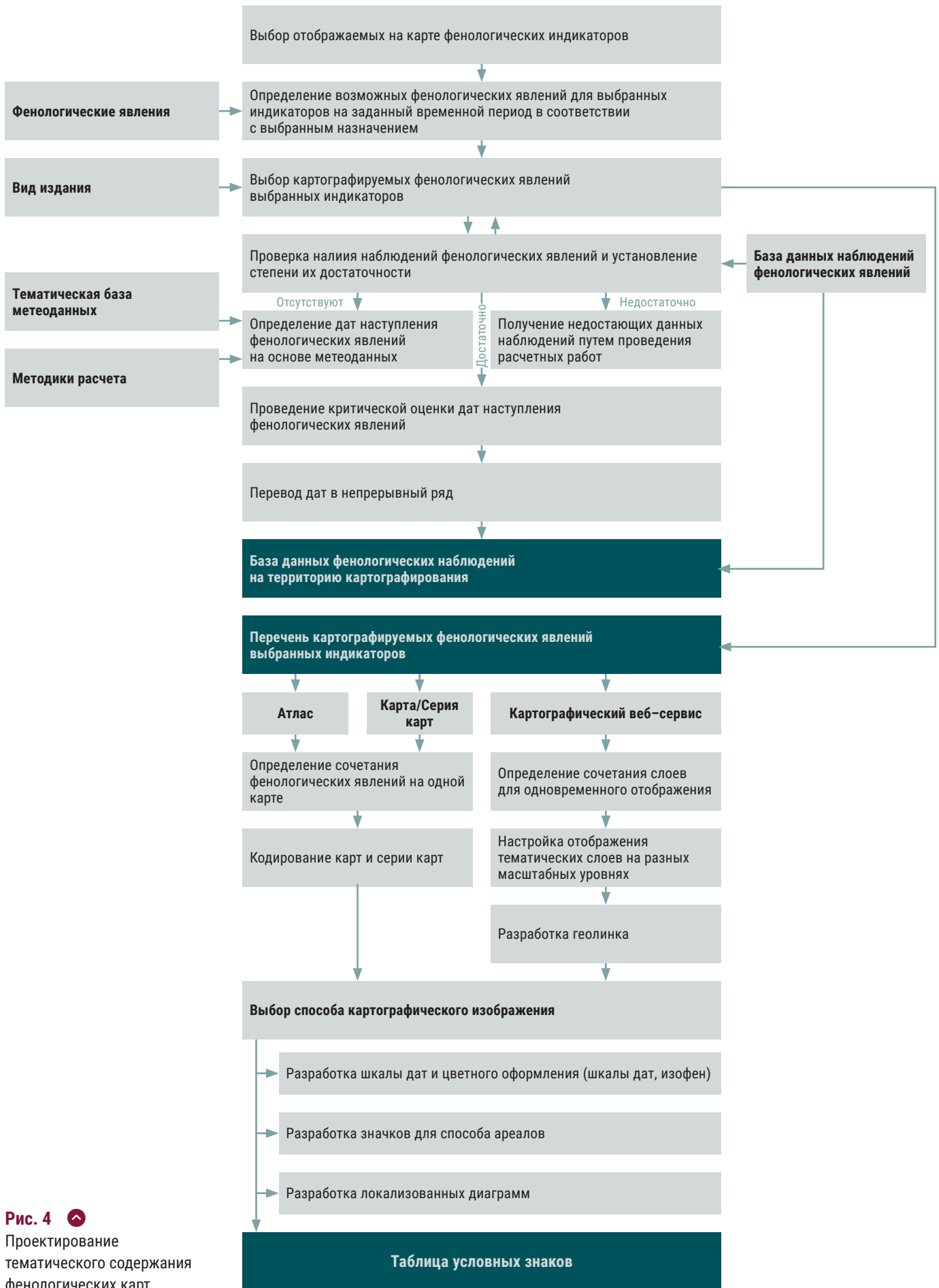
**Рис. 3**  Выбор картографического издания. Проектирование математической основы.



## 2.4 Проектирование тематического содержания фенологических карт

На четвертом этапе методики (Рис. 4) выполняется проектирование тематического содержания фенологической карты.

Вначале, на основе полученного на втором этапе перечня индикаторов, выполняется выбор тех, которые будут отображаться на карте. Используя реляционные связи между таблицами и зная временной диапазон, для выбранных индикаторов определяются возможные фенологические явления. Окончательный выбор фенологических явлений осуществляется на основе проверки наличия наблюдений фенологических явлений и установления степени их полноты. Если же данные наблюдений отсутствуют, но индикатор нужно отобразить на карте, то можно определить даты наступления интересующих фенологических явлений, используя существующие методики расчета на основе метеоданных (температуры воздуха и почвы; атмосферные осадки). В случае, если данных наблюдений недостаточно, то возможно получить недостающие данные путем проведения расчетных работ. Для этой цели может быть применено несколько методов<sup>7</sup>:



**Рис. 4** Проектирование тематического содержания фенологических карт.



- метод сумм температур (сущность метода заключается в суммировании значений средних суточных температур воздуха, начиная от термического рубежа, принятого за жизненный нуль, и заканчивая датой наступления соответствующего явления);
- метод разностей (основа данного метода – выявление однородности рядов наблюдений в различных, но не слишком удаленных друг от друга пунктах и вычисление средней разницы между фенодатами этих пунктов по всему периоду лет);
- метод картографического анализа (сводится к составлению фенологических карт за каждый отдельный год принятого периода лет наблюдений).

Далее необходимо провести критическую оценку расчетных дат, сущность которой заключается в проверке достоверности дат, составляются графики, производится отбраковка данных. Завершаются расчетные работы вычислением средних многолетних дат. Периоды, необходимые для выявления средней многолетней величины, зависят от географического положения территории, на которой проводились наблюдения. Там, где изменчивость фенодат большая – необходим более длинный период, где изменчивость небольшая – период может быть меньшим. Для выявления географических закономерностей сезонного развития растений можно ограничиться 5-летним периодом, если он не является резко аномальным в климатическом отношении.

Для упрощения обработки данных и интерполирования даты переводятся в непрерывный ряд путем отсчета от календарной даты наступления фенологического сезона, на который составляется карта. В результате формируется тематическая база данных непосредственно для территории картографирования и сопредельных территорий.

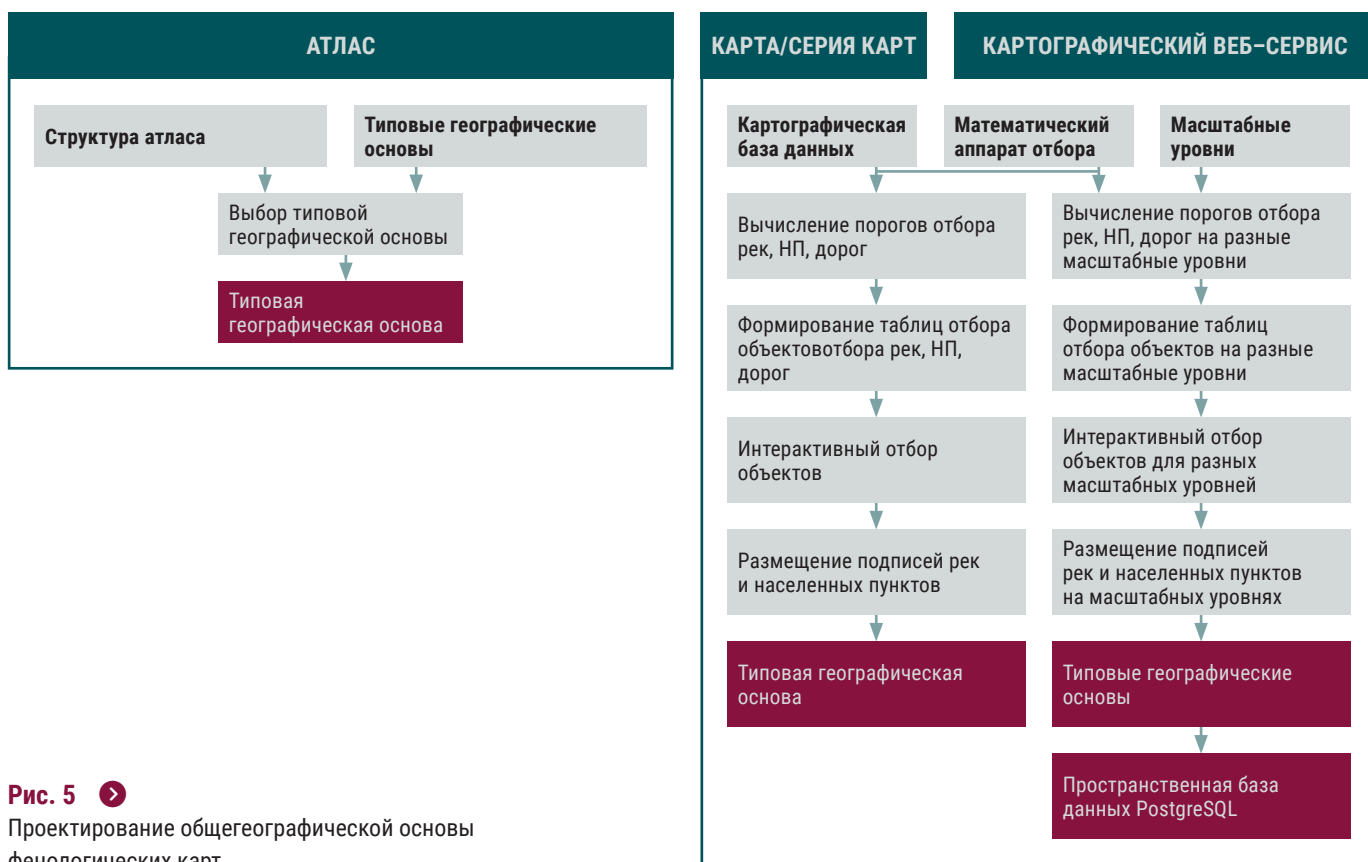
После формирования тематической базы и окончательного выбора картографируемых фенологических явлений выбранных индикаторов устанавливается их сочетание на одной карте. При разработке картографического веб-сервиса – речь идет об определении оптимального сочетания слоев для одновременного их отображения. Далее происходит выбор способа картографического изображения, разработка шкалы дат и ее цветового оформления, в случае использования послойной окраски, а также выбора цветов изофен. Результатом является таблица условных знаков. Для картографического веб-сервиса на этом этапе ведется разработка геолинка, отображаемого при наведении на объект как общегеографической основы, так и тематического содержания.

## 2.5 Проектирование общегеографической основы фенологических карт

Пятый этап методики заключается в разработке общегеографической основы фенологических карт, которая, как правило, представлена гидрографией, населенными пунктами, границами. Однако, возможно отображение и путей сообщения.

В зависимости от вида картографического издания (атлас, карта/серия карт, картографический веб-сервис) подходы к автоматизированному созданию географических основ будут различными (Рис. 5). Так, в случае

создания *традиционного атласа* его структура уже определена, также известны масштаб, проекция и макет компоновки фенологических карт, установлены и созданы типовые географические основы. При создании *отдельной фенологической карты* (серии карт) необходимо для заданного масштаба установить количественные показатели (пороги отбора) создаваемой основы (суммарная длин рек и дорог, количество населенных пунктов) с учетом тематики, сформировать таблицы отбора рек, населенных пунктов и дорог, выполнить интерактивный отбор объектов и размещение подписей. Для создания картографического веб-ресурса этапы, указанные для предыдущего издания, следует выполнить для разных масштабных уровней и провести экспортирование данных в базу пространственных данных PostgreSQL на территорию картографирования.



**Рис. 5** Проектирование общегеографической основы фенологических карт.

### 3 Результаты и обсуждение результатов

В ходе проведенного исследования разработана универсальная методика, обеспечивающая проектирование содержания фенологических карт независимо от отображаемого фенологического явления и вида картографической продукции (карты/серии карт, атласа, картографического веб-сервиса). В ходе разработки методики был применен комплексный подход, позволяющий решить следующие задачи:

- автоматизация процессов выбора фенологических сезонов и суб-сезонов для выбранной картографируемой территории;
- определение фенологических индикаторов на заданную территорию;

- проектирование математической основы карты;
- разработка тематического содержания;
- проектирование общегеографической основы фенологических карт.

В основу разработанной методики положено использование разнообразных источников, формирование картографической и тематической баз данных, применение современных ГИС-технологий и методов геоинформационного картографирования. Методика может применяться в тематическом, атласном и веб-картографировании. Особое значение методика имеет в мультимасштабном тематическом картографировании для проектирования тематического и общегеографического содержания на разные масштабные уровни фенологической карты.

## **4 Выводы**


Практическая значимость результатов исследования заключается в оперативном обеспечении широкого круга потребителей достоверными, современными и информативными сведениями о фенологических индикаторах и явлениях на выбранную территорию в разнообразной форме представления: фенологические карты, календари природы, календари сельскохозяйственных работ, фенологический круг. Так, результаты исследования могут быть использованы для создания фенологических карт, которые показывают изменения в природе в зависимости от времени года. Фенологические карты могут быть полезны для определения оптимальных сроков проведения сельскохозяйственных работ, планирования мероприятий по охране окружающей среды и туризма, а также для научных исследований. Кроме того, информация о фенологических явлениях может быть использована для создания календарей природы и сельскохозяйственных работ, которые помогут пользователям лучше понимать происходящие в природе процессы и планировать свою деятельность. Фенологический круг также может быть полезен для изучения взаимосвязи между различными фенологическими явлениями и их влияния на окружающую среду.

**БЛАГОДАРНОСТИ** Исследование выполнено в рамках государственного задания FSFE-2023-0005 Минобрнауки России.


- БИБЛИОГРАФИЯ**
1. Карюкина Е.И., Крылов С.А. Современное состояние и перспективы развития геоинформационного фенологического картографирования // Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции. «Геоинформационное картографирование в регионах России». 2020. С. 159–162.
  2. Головня Е.Г., Лебедев П.А., Мишукова И.А. О возможностях построения географических карт изофен на основе летописей природы в фенологии // Экономика и управление народным хозяйством (Санкт-Петербург). 2022. № 18(20). С. 155–158.
  3. Гребенюк Г.Н., Кузнецова В.П. Геоинформационная база данных метеорологической и фенологической информации Тюменской области // Фундаментальные исследования. 2014. № 5–6. С. 1233–1241.
  4. Гурьевских О.Ю., Иванова Ю.Р., Скок Н.В. Картографирование фитопенологических явлений и биоклиматических показателей в ландшафтных провинциях Урала //

- Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 6–3(108). С. 24–32. DOI:10.23670/IRJ.2021.108.6.065.
5. Красавина А.А. Составление фенологической карты годового цикла представителей подотряда змеи Амурской области // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: Материалы всероссийской научно-практической конференции. Часть 2. 2021. С. 466–471. EDN: HVPPIG.
  6. Янцер О.В., Вдовин А.С. Картографирование фенологических явлений с применением ПК ARCGIS desktop // Информационные технологии в исследовании биоразнообразия: материалы III Национальной научной конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения академика РАН П. Л. Горчаковского. Автономная некоммерческая организация высшего образования «Гуманитарный университет». 2020. С. 586–588.
  7. Минин А.А. Фенология Русской равнины: материалы и обобщения. М.: АБФ/АБФ, 2000. 160 с.
  8. Минин А.А., Ранькова Э.Я., Рыбина Е.Г., и др. Феноиндикация изменений климата за период 1976–2015 гг. в центральной части Европейской территории России: береза бородавчатая (повислая) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. Pendula* Roth.)) // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2016. Т. 27. № 2. С. 17–28.
  9. Минин А.А., Ананин А.А., Буйволов Ю.А., и др. Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2020. 5(4). С. 89–110.
  10. Крылов С.А., Загребин Г.И., Дворников А.В., Логинов Д.С. Особенности организации поиска и отображения изданных карт и атласов с помощью геопорталов. От карты прошлого – к карте будущего // Сборник научных трудов: в 3 т. Пермь: 2017. Т. 1. С. 167–176.


**АВТОРЫ****Карюкина Елена Игоревна**

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»  
(МИИГАиК), Москва, Россия  
кафедра картографии, картографический факультет  
 0000-0002-2725-759X

**Крылов Сергей Анатольевич**

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»  
(МИИГАиК), Москва, Россия  
кафедра картографии, картографический факультет  
канд. техн. наук  
 0000-0002-5879-6502

**Савиных Виктор Петрович**

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»  
(МИИГАиК), Москва, Россия  
геодезический факультет, кафедра аэрокосмических съемок  
д-р техн. наук, профессор  
 0000-0002-3259-6721

Поступила 11.02.2023. Принята к публикации 21.08.2023. Опубликовано 28.08.2023.