

Лекция 6. Применение технологий ГИС для решения задач агропромышленного комплекса

Исследования по картам - один из видов познавательной деятельности, позволяющий выявлять размещение и структуру объектов и явлений, их взаимные соотношения, связи и корреляции, определять тенденции развития и динамику, получать разнообразные количественные характеристики и оценки, проводить кластеризации и районирование, прогнозировать изменения во времени и пространстве. Различают качественные и количественные, научные и прикладные, эмпирические и теоретические исследования по картам. Основным средством таких исследований является картографический метод исследования.

Картографический метод исследования основан на анализе карт как пространственно-временных моделей действительности. Для изучения явлений по их изображениям на картах используются различные приемы анализа, среди которых выделяют визуальные, картометрические, графические и математические способы. Способы работы с картами подразделяют на анализ отдельной карты и анализ серий карт. **Анализ отдельной карты** выполняют путем:

- изучения картографического изображения без его преобразования, т.е. анализ карты в том виде, в каком она есть.
- преобразования картографического изображения с целью приведения его в вид, более удобный для данного конкретного исследования;
- разложения картографического изображения на составляющие - особый вид преобразования, применяемый для выделения нормальной и аномальной (фоновой и остаточной) компонент развития и размещения явлений и процессов.

Анализ серий карт производят путем:

- сравнения карт разной тематики с целью установления взаимосвязей и зависимостей между явлениями;
- сопоставления разновременных карт для изучения динамики и эволюции явлений и процессов, составления прогнозов их развития во времени;
- изучения карт-аналогов для обнаружения общих закономерностей распространения явлений и процессов на разных территориях.

Исследования по картам включают несколько этапов:

- постановка задачи - формулирование цели, выделение подзадач, определение требований к точности;
- подготовка к исследованию - выбор картографических источников, методов, технических средств, алгоритмов и т.п.;
- собственно, исследование - получение предварительных, а затем окончательных результатов, их оценка, создание новых карт;
- интерпретация результатов - содержательный анализ, формулирование выводов и рекомендаций, оценка их надежности.

Исследования по картам - это всегда более или менее формализованная процедура. На всех этапах ей должны сопутствовать содержательный

географический анализ получаемых результатов, соотнесение их с реальной ситуацией и, если необходимо, корректировка самой процедуры исследования.

Надежность картографического метода исследований - это его способность обеспечивать верное решение поставленной задачи. Иными словами, чем ближе к истине полученный результат, тем надежнее исследование. Оценка надежности - довольно сложная и часто неопределенная задача, поскольку погрешность результата зависит от многих причин, из которых одни выявляют, пользуясь методами теории ошибок, картометрии и математической статистики, а другие не имеют точных оценок, и судить о них можно лишь с учетом навыка, опыта, научной зрелости исследователя и других субъективных факторов. Многообразии научных и практических задач, решаемых с помощью картографического метода исследования, всякий раз требует особого подхода к оценке надежности, поэтому универсальные критерии вряд ли применимы. В картографических исследованиях различают следующие **причины и основные источники ошибок**:

- **концептуальные** - неточность, неполнота и другие недостатки исходных концепций, неверная интерпретация результатов;
- **коммуникационные** - ошибки исполнителей, непонимание или неправильное восприятие мыслей, идей, нечеткость формулировок задания, выводов;
- **географические** - неопределенность или условность пространственных границ и временных пределов самих объектов, изучаемых по картам, приближенные представления о тенденциях их изменения во времени и пространстве и т.п.;
- **картографические** - неточность карт, по которым ведутся исследования, их неполнота, устарелость;
- **технические** - погрешности измерений, несовершенство инструментов и оборудования, алгоритмов и программ, незащищенность баз данных.

По точности получаемых результатов все исследования по картам делят на три группы:

- **точные исследования**, при которых измерения и вычисления выполняют с максимально возможной точностью, при этом стараются тщательно учесть и исключить все ошибки, проводят неоднократные контрольные измерения и независимые вычисления;
- **исследования средней точности**, когда по условиям работы принимается, что погрешность результата не должна превышать определенного допустимого предела. Тогда погрешности, меньшие заданной точности, вообще не учитываются, что снижает трудоемкость и сокращает сроки работ. Избыточная точность, не оправданная практическими целями исследования, - это серьезный методический просчет. Погрешности определения длин и площадей при измерениях средней точности доходят до 3-5 %, а углов - до 3°. В географических исследованиях такой уровень точности вполне приемлем;
- **приближенные исследования**, выполняемые с невысокой точностью, обычно необходимые для предварительных оценок и прикидок. Их

проводят без использования точных инструментов, часто визуальным путем. Ошибки измерения длин и площадей при этом составляют 6-10 %, а углов - до 8°. Приближенные определения позволяют правильно спланировать дальнейшие, более точные исследования.

Анализ и количественная оценка внутренних и внешних связей и взаимозависимостей с помощью карт

Анализ и количественная оценка внутренних и внешних связей и взаимозависимостей между геосистемами, их подсистемами и отдельными компонентами - одна из центральных задач в науках о Земле. В ее решении картографическому методу принадлежит коронная роль благодаря поистине неисчерпаемому разнообразию карт всевозможной тематики. По ним удобно оценивать изменчивость связей в пространстве, выделять основные и второстепенные зависимости, а также выполнять индикационные исследования, т.е. предсказывать размещение одних (индицируемых) явлений по другим (индикаторам).

Для изучения взаимосвязей используют широкий арсенал технических приемов. Самые простые среди них - визуальный анализ и описание взаимосвязей. **Визуальный анализ** - наиболее употребительный прием исследования по картам, основанный на существовании карт как образно-знаковых моделей, воспроизводящих в наглядной форме пространственные формы, отношения и структуру. Результатом визуального анализа является, как правило, описание изучаемых явлений, для которого необходимы логичность и последовательность изложения, отбор и систематизация фактов, их анализ, обобщение и заключительные выводы.

Графический анализ заключается в исследовании явлений при помощи графических построений, выполняемых по географическим картам. Такими построениями могут быть профили, разрезы, блок-диаграммы и другие образно-знаковые модели, производные от карт, а также различные графики-диаграммы, розы направлений или звездные диаграммы и т. п. Их часто применяют для наглядного представления о размещении явлений в иных плоскостях, чем горизонтальная, например в вертикальной плоскости посредством профилей и разрезов, в плоском изображении трехмерного пространства посредством блок-диаграмм, нередко сочетающих горизонтальные и вертикальные сечения, и т. п. Профили широко используют для изучения рельефа земной поверхности, геологического строения земной коры и т. д. Разрезы, показывающие вертикальную структуру компонентов географической оболочки, удобны для исследования их соотношений с рельефом земной поверхности, в частности с высотной поясностью. Совмещение профилей позволяет переходить к пространственному анализу, например, для выявления поверхностей выравнивания

Из графических приемов эффективно совмещение контуров анализируемых явлений на общей основе - графический оверлей, в результате чего выявляют совпадающие, частично совпадающие и совсем не совпадающие контуры. Они трактуются как отражение взаимосвязей различной силы. Многие зависимости наглядно видны на комплексных профилях и разрезах, совмещенных розах-диаграммах, составленных по сериям карт, а также на блок-диаграммах и метахронных (разновременных) диаграммах. Графический анализ нередко служит

для выяснения закономерностей пространственного размещения, например, распределения (ориентирования каких-либо явлений (ветров, водотоков, тектонических разломов и т. п.) по основным азимутам.

При исследовании геосистем очень важным является прослеживание изменения взаимосвязей по территории, от места к месту, выявление зон, где связи сильны и где они ослабевают или совсем отсутствуют. Для этого создаются специальные карты взаимосвязей, отражающие пространственное варьирование связей. В зависимости от способа построения получают разные типы таких карт:

- **карты районирования по степени взаимного соответствия**, составляемые путем графического оверлея и оконтуривания районов полного и частичного соответствий; **оверлей** - операция наложения друг на друга двух или более слоев, в результате которой образуется один производный слой, содержащий композицию пространственных объектов исходных слоев, топологию этой композиции и атрибуты, арифметически или логически производные от значений атрибутов исходных объектов;

- **картограммы взаимосвязей**, где показатели корреляции рассчитаны по единицам территориального деления, обычно по административным районам;

- **карты изокоррелят**, на которых проведены изолинии равных коэффициентов корреляции по данным, вычисленным в ячейках регулярной или нерегулярной сетки;

- **карты энтропии контуров**, на которых взаимное соответствие явлений оценивается с помощью показателя энтропии для каждого отдельного контура, ареала, ландшафтного выдела, водосборного бассейна.

Чем подробнее и детальнее показано варьирование взаимосвязей от места к месту, тем интереснее карта для пространственного анализа.

Для проведения картографических исследований применяют методы математико-статистического анализа, пригодные для исследования явлений, которые можно рассматривать на картах как однородные множества изменяющихся в пространстве случайных величин: высот, температур, посевных площадей, урожайности, называемых в математической статистике статистическими совокупностями. Среди многих задач, решаемых по картам при помощи статистического анализа, можно выделить три основные:

- 1) определение статистических характеристик какого-либо однородного явления, зависящего от многих факторов с неизвестной функциональной связью;
- 2) изучение пространственных и временных связей между явлениями;
- 3) оценка степени влияния отдельных факторов на изучаемое явление и выделение ведущих факторов.

Для характеристики явления посредством какого-либо статистического показателя (средней арифметической, моды, медианы) определяют количественные значения явления во многих точках карты и обрабатывают полученные данные, следуя правилам математической статистики по ячейкам избранной территориальной сетки (административного деления, природного районирования, регулярной сети). Для производства выборки наиболее удобны карты с изолиниями (или псевдоизолиниями), позволяющими определять величину явлений

в любой точке карты. Наиболее обоснована выборка по сетке равномерно расположенных точек. Количественные значения для статистической обработки можно получать и по картам с другими способами изображения: точками, ареалами, картограммами. Например, при точечном способе определяют интенсивность явлений выборочно по сетке контрольных площадок (часто в виде кружков), подсчитывая число точек внутри каждой контрольной площадки. Обычно анализ завершают построением картограммы или изолиний (псевдоизолиний), дающих наглядное представление о пространственных изменениях показателя.

При **исследовании по картам пространственных (и временных) зависимостей** явлений - их формы и тесноты - прибегают к вычислению корреляционных показателей (коэффициентов корреляции, корреляционных отношений, показателей множественной корреляции и др.) и к выяснению (оценке) их надежности. Для этого надо иметь две выборки значений сопоставляемых явлений (например, осадков и урожайности), измеренных в одних и тех же точках одной или двух сравнимых карт; для множественной корреляции привлекают три выборки и более по одной или нескольким картам. Такие исследования при детализации расчетов по сетке территориального деления дают материал для составления карт взаимосвязей (корреляций), показывающих пространственные изменения величины и знака показателей корреляции; по ним возможно районирование территории по характеру связей - тесных и слабых, положительных и отрицательных, что важно для установления причинно-следственных отношений между исследуемыми явлениями.

Задачи по **оценке влияния отдельных факторов и выделению ведущих факторов** возникают при исследовании по картам сложных комплексов явлений со множеством взаимосвязей. Примерами могут быть совокупность климатических показателей, или, что значительно шире, комплекс природных условий. Математическая статистика предоставляет для этого средство в виде факторного анализа, который позволяет сводить в одном показателе (аппроксимировать одним фактором) влияние комплекса родственных явлений и в конечном счете обобщать и оценивать влияние многих факторов при помощи весьма ограниченного числа синтетических показателей. Такой путь исследования дает объективное средство к составлению синтетических карт, например, комфортности природных условий для обитания и работы людей.

Другой распространенный прием математического анализа состоит в составлении по картам **уравнений поверхностей, аппроксимирующих исследуемые явления** - реальные (например, земной рельеф, поверхности погребенных пород определенного геологического возраста и т. п.) или абстрактные (годовой слой осадков, плотность населения, урожайность и др.), затем в построении по этим уравнениям карт аппроксимирующих поверхностей и, наконец, в анализе этих поверхностей для интерпретации и объяснения исследуемых явлений. **Аппроксимация** (от лат. *proxima* – ближайшая) или приближение - научный метод, состоящий в замене одних объектов другими, в каком-то смысле близкими к исходным, но более простыми.

Изучение динамики явлений и процессов по картам

Для изучения динамики явлений и процессов, т. е. их возникновения, развития, изменения во времени и перемещения в пространстве, используют разновременные карты, на которых одни и те же объекты изображены в разные моменты времени. К разновременным относятся карты, составленные и изданные в разные годы (например, старые и современные топографические), либо карты, составленные одновременно, но фиксирующие разные моменты времени (помесечные карты температур), а также карты-реконструкции (палеогеографические, историко-географические и т. п.).

Очень ценными документами для анализа естественной и антропогенной (техногенной) динамики геосистем служат старые топографические карты и планы. В России государственные топографические съемки были выполнены петровскими геодезистами в 1720 г., а в 1765 г. начались работы по генеральному межеванию «земель всей империи». Они охватили почти всю европейскую часть Российской империи, в том числе и территорию нынешней Республики Беларусь. Сегодня сравнение этих карт с современными топографическими картами позволяет получить точные сведения об изменении всех компонентов ландшафта, развитии сети дорог и населенных пунктов. Многие европейские государства также располагают старыми картами высокой точности, отражающими облик местности, начиная с эпохи Средневековья.

По разновременным картам изучают изменения таких типов:

- **медленные изменения** (например, тектонические движения, смещения береговых линий или русел рек), для выявления которых необходимы карты, разделенные большими промежутками времени;
- **быстрые изменения** (смена синоптической обстановки, экологической ситуации и т. п.), анализ которых можно проводить только по сериям карт, разделенным малыми временными интервалами;
- **периодические и циклические изменения** (сезонные, фенологические явления и др.) - в этом случае используют разновременные карты, отражающие характерные фазы развития явления или процесса;
- **эпизодические и катастрофические изменения** или замещения (землетрясения, сход лавин, появление гарей на месте лесов) - для их изучения необходимы карты, фиксирующие моменты до и после наступления явления.

Результаты сравнения чаще всего представляют путем простого совмещения контуров явлений на разные даты. Другой способ отображения динамики - составление карт разности состояний явления на разные даты. Один из самых наглядных способов представления результатов анализа разновременных источников - составление карт ареалов изменения явлений. Это достигается путем графического оверлея, т.е. совмещения двух карт (прошлого и современного состояния) на общей основе.

Существует два основных способа исследования динамики явлений и процессов с использованием картографического метода: создание карт, специально предназначенных для этой цели, и привлечение для этого уже существующих карт. Среди динамических карт выделяют:

- карты, совмещающие показ пространственного положения явлений, например, гидрографической сети, береговой черты морей, ледников и т. п., для ряда последовательных моментов времени;
- карты, отображающие динамическое состояние явлений на определенное время;
- карты, характеризующие среднюю скорость или интенсивность процессов - морских течений, годовых изменений магнитного склонения, вертикальных движений земной коры и т. п.;
- карты, определяющие время наступления явлений: фенологические карты, указывающие средние многолетние сроки сезонных явлений - природных и хозяйственных;
- карты изменения состояния или замены явлений, например, природных ландшафтов в результате антропогенных воздействий при вырубке или возобновлении лесов, осушении болот и т. п.

Изучение по картам структуры явлений и процессов

Изучение по картам структуры явлений и процессов - это выявление и анализ их элементов, размещения в пространстве, конфигурации, порядка (уровня) и иерархии. Конечная цель исследования всегда состоит в познании пространственной организации геосистем, их генезиса, в раскрытии механизма функционирования.

Один из наиболее информативных способов изучения структуры - анализ конфигурации картографических образов, т.е. изучение геометрического рисунка изображения. По внешнему облику объекта часто можно судить о его морфологии, генезисе, о факторах, сформировавших тот или иной объект.

Картографический метод позволяет эффективно выявлять пространственные закономерности и аномалии, т.е. типичные, устойчивые, широко распространенные структуры и отклонения от них. Карты, обладающие большой обзорностью, как бы специально предназначены для выявления общих закономерностей глобального и регионального уровней. В значительной степени этому способствует и генерализация, освобождающая изображение от мелочей, деталей и выпукло проявляющая главные, наиболее существенные его черты.

Углубленное изучение структуры явлений нередко требует преобразования картографического изображения, т.е. трансформирования его с целью создания производных карт и получения по ним новой информации. Различают несколько видов преобразования:

- **вычленение**, т.е. выделение на карте интересующих исследователя компонентов сложной геосистемы и снятие прочих деталей. Выделенные элементы предстают в наглядной и удобной для данного исследования форме, например, в виде системы спрямленных элементов рельефа и гидрографии;
- **схематизация** - устранение второстепенных деталей и представление картографического изображения в упрощенном виде. Так, при схематизации гипсометрического изображения и снятии деталей эрозионного расчленения проявляется основная первично-тектоническая структура рельефа;

- **детализация** - преобразование, противоположное схематизации, имеющее целью сделать изображение более подробным. Например, на топографической карте можно детализировать изображение эрозионной сети, проводя по изгибам горизонталей тальвеги временных водотоков;

- **континуализация** - замена дискретного картографического изображения непрерывным, что обычно связано с введением понятия «географическое поле». Например, карту тектонических трещин преобразуют в псевдоизолинейную карту поля трещиноватости, карту площадей пахотных земель - в карту распаханности территории, карту размещения лесов - в карту лесистости и т.п. Такие преобразования дают представление об абстрактном рельефе явления, на производных картах хорошо читаются максимумы и минимумы распределения, их удобно коррелировать с другими изо-линейными картами;

- **дискретизация** - обратное преобразование, имеющее целью перевод непрерывного изображения в дискретную форму. Примером может служить интерполирование по сетке точек при создании цифровых моделей по картам с изолиниями или картограммам (например, построение TIN-моделей рельефа).

Средствами подобных преобразований часто служат **графические операторы** - сетки равномерно или неравномерно расположенных точек, геометрических ячеек, в каждой из которых выполняют пересчет исходных данных и получают производные показатели. Если ячейки (квадраты, кружки и др.) перекрываются по площади, то их называют скользящими операторами.

Картографические прогнозы и их надежность

Сравнение карт разной тематики и разновременных позволяет перейти к прогнозам на основе выявленных взаимосвязей и тенденций развития явлений. **Прогноз по картам** рассматривается как изучение явлений и процессов, недоступных современному непосредственному исследованию. Это означает, что прогнозирование не ограничивается гипотезами о развитии явлений или процессов в будущем. Можно прогнозировать и современные, но еще неизвестные явления, например, неизвестные полезные ископаемые. Существенно лишь то, что предсказываемое явление недоступно прямому изучению в настоящее время.

В основе прогноза лежат **картографические экстраполяции**, понимаемые в широком смысле как распространение закономерностей, полученных в ходе картографического анализа какого-либо явления, на неизученную часть этого явления, на другую территорию и (или) на будущее время. Картографические экстраполяции, как и любые другие (математические, логические), не универсальны. Их достоинство в том, что они хорошо приспособлены для прогнозирования и пространственных, и временных закономерностей. В практике прогнозирования по картам широко применяют также известные в географии методы аналогий, индикации, экспертные оценки, расчет статистических регрессий и др. Существуют три **вида прогноза по картам**:

- **прогноз во времени**, основанный на экстраполяции динамических тенденций, выявленных по разновременным картам;
- **прогноз в пространстве**, опирающийся на взаимосвязи и аналогии, установленные по картам разной тематики;

- **пространственно-временной прогноз**, сочетающий оба названных выше вида прогноза и позволяющий предсказать тенденции развития и эволюции явления в прогнозируемом пространстве.

При картографической экстраполяции особое значение приобретают карты фоновых поверхностей. С их помощью можно предсказать главные, определяющие, фоновые черты явления, не вдаваясь в детали, частности и возможные случайные отклонения. Карты фоновых поверхностей в равной мере пригодны для прогноза во времени и пространстве.

Географические прогнозы во времени классифицируют по упреждению или заблаговременности. Различают прогнозы долгосрочные (несколько десятилетий), среднесрочные (10-15 лет), краткосрочные (три-пять лет) и сверх краткосрочные (менее года).

Достоверность прогнозных карт зависит от заблаговременности и дальности экстраполяции, характера самого явления, его стабильности или подвижности, цикличности, от достоверности и полноты исходных карт, а также от устойчивости выявленных тенденций, тесноты взаимосвязей, что во многом определяется самой методикой прогнозирования. В зависимости от степени достоверности различают карты предварительного, вероятного и весьма вероятного прогноза, а также карты перспективного расчета.

Картографические прогнозы основываются на анализе пространственных и временных закономерностей, многие из которых могут найти конкретное количественное выражение в виде строгих или аппроксимирующих функций. Математическое обоснование разработки и применения прогнозных карт, а также точности получаемых прогнозов стало вполне реальным при использовании для расчетов электронно-вычислительной техники. Вместе с тем карта позволяет формализовать исследовательскую задачу, содержание и процедуру исследования. Пространственные прогнозы невозможны без прогнозных карт, необходимых не столько для локализации прогнозируемых явлений и процессов, сколько в качестве одного из важнейших средств прогноза - пространственных моделей для анализа географических систем различной сложности и предвидения их изменений в пространстве и времени. Для повышения надежности прогнозных карт и картографического метода исследования вообще целесообразно их применение совместно с другими методами, в частности математическими, для которых карты служат исходной основой. Тесное взаимодействие различных методов повышает достоверность картографического метода прогнозирования, приводит к взаимному обогащению методов и к возникновению совместных, граничных приемов исследования.