

В.К. КАЛИЧКИН, А.И. ПАВЛОВА

**АГРОНОМИЧЕСКИЕ
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ
СИСТЕМЫ**

Новосибирск 2018

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР АГРОБИОТЕХНОЛОГИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

FEDERAL AGENCY FOR SCIENTIFIC ORGANIZATIONS
SIBERIAN FEDERAL SCIENTIFIC CENTRE OF AGRO-BIOTECHNOLOGIES
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

V.K. KALICHKIN, A.I. PAVLOVA

**GEOINFORMATION
SYSTEMS
IN AGRONOMY**

Novosibirsk 2018

В.К. КАЛИЧКИН, А.И. ПАВЛОВА

**АГРОНОМИЧЕСКИЕ
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ
СИСТЕМЫ**

Новосибирск 2018

УДК 528.46:631.5:

ББК П141с5

К17

Каличкин В.К. Агрономические геоинформационные системы: монография / В.К. Каличкин, А.И. Павлова; СФНЦА РАН. – Новосибирск: СФНЦА РАН, 2018. – 347 с.

ISBN 978-5-6040464-3-2

Проанализировано современное состояние применения геоинформационных систем (ГИС) и их приложений для территориального информационного обслуживания, прежде всего сельского хозяйства. Изложены подходы к формированию и структурированию информации, ее представления в базах данных и знаниях, анализа с применением современных методов, в том числе возможностей и методов нечеткой логики. Рассмотрены вопросы геоинформационного моделирования природных объектов регионального уровня, а также использование ГИС и интегрированных с ними программ для автоматизированного проектирования внутрихозяйственного использования земель и обеспечения «цифрового» земледелия.

Книга предназначена для научных работников, занимающихся проблемами использования информационных технологий в земледелии, аспирантов и студентов вузов сельскохозяйственного профиля, а также агрономов-технологов.

Рис. 64. Табл. 28. Библиогр. 557 назв.

Утверждено к печати экспертной комиссией СФНЦА РАН (протокол от 01.12.2017)

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *А.Ф. Алейников*
кандидат технических наук, профессор *В.А. Середович*

Kalichkin V.K. Geoinformation systems in agronomy: monography / V.K. Kalichkin, A.I. Pavlova; SFSCA RAS. – Novosibirsk: SFSCA RAS, 2018. – 347 p.

ISBN 978-5-6040464-3-2

This book describes the current state of geoinformation systems (GIS) and their applications used for territorial information support to agriculture in particular. It outlines approaches to generating and structuring information, its representation in knowledge and data bases, analysis of information by means of modern methods, including methods and features of fuzzy logic. The book examines issues on geoinformation simulation of natural objects at the regional level as well as on applying GIS and GIS-integrated programs in computer-aided design of intrafarm land use and providing digital farming.

The book is intended for researchers engaged in issues on using information technologies in agriculture, students and post-graduate students from institutions of higher agricultural education, and agricultural production engineers.

Fig. 64. Tabl. 28. Ref. 557.

Reviewed by:

A.F. Aleynikov, D. Eng, Prof.
V.A. Seredovich, PhD. Eng, Prof.

© Каличкин В.К., 2018

© Павлова А.И., 2018

© СФНЦА РАН, 2018

ISBN 978-5-6040464-3-2

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
Глава 1. Геоинформационные системы	11
1.1. Функции и возможности современных ГИС	12
1.2. Интеграция ГИС и ДЗЗ	38
1.3. Компьютерные программы для агрономии с использованием ГИС	60
Глава 2. Информация, способы обработки и представления, возможное использование в ГИС	78
2.1. Информация и проблемы, связанные с ее получением и обработкой	78
2.2. Базы данных	94
2.3. Базы знаний и экспертные системы	106
2.4. Геоинформационное моделирование	132
2.5. Применение непараметрической статистики для анализа пространственных данных	166
2.6. Нейросетевой анализ	174
Глава 3. Геоинформационные модели природных объектов регионального уровня	191
3.1. Геоинформационная модель рельефа	191
3.2. Геоинформационная модель климата и зонирования территории	214
3.3. Геоинформационная модель почвообразующих пород	221
3.4. Геоинформационная модель почвенного покрова	225
3.5. Геоинформационная модель эрозии почв	236
3.6. Геоинформационная модель природно-сельскохозяйственного районирования	247
Глава 4. Геоинформационное обеспечение «цифрового земледелия»	253
4.1. Автоматизированный способ классификации земель	258
4.2. Автоматизированная оценка продуктивности земель	271
4.3. Автоматизированный выбор приема основной обработки почвы	284
4.4. Автоматизированная оценка технологических свойств земель	291
4.5. Автоматизированное проектирование севооборотов	304
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	315
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	317

CONTENTS

INTRODUCTION	9
Chapter 1. Geoinformation systems	11
1.1. Functions and features of modern GIS	12
1.2. Integrating GIS and Earth remote sensing	38
1.3. Computer programs with GIS for agronomy	60
Chapter 2. Information, processing and representation methods, the possible use in GIS	78
2.1. Information and issues related to information obtaining and processing	78
2.2. Databases	94
2.3. Knowledge bases and expert systems	106
2.4. Geoinformation simulation	132
2.5. The use of nonparametric statistics to analyze spatial data	166
2.6. Neural network analysis.	174
Chapter 3. Geoinformation models of natural objects at the regional level	191
3.1. Geoinformation model of relief	191
3.2. Geoinformation model of climate and territory zoning	214
3.3. Geoinformation model of soil-forming strata	221
3.4. Geoinformation model of soil cover	225
3.5. Geoinformation model of soil erosion	236
3.6. Geoinformation model of natural and agricultural zoning	247
Chapter 4. Geoinformation support to digital farming	253
4.1. Computer-aided method for land classification	258
4.2. Computer-aided assessment of soil productivity	271
4.3. Computer-aided choice of tillage technique	284
4.4. Computer-aided assessment of the soil technological properties	291
4.5. Computer-aided design of crop rotations	304
CONCLUSION	315
REFERENCES	317

ВВЕДЕНИЕ

Геоинформационные системы в настоящее время становятся все более доступным инструментом анализа и представления пространственно распределенных данных. Информация, накапливаемая различными организациями о реальных объектах и событиях в природе и обществе, в той или иной мере содержит пространственную составляющую. Пространственный аспект в информации имеют земельные участки, водные, лесные и другие природные ресурсы, здания и сооружения, транспортные магистрали и инженерные коммуникации. Трудно отыскать реальный материальный объект или событие, связанное с объектом, которые бы не имели координат на поверхности Земли. Вся информация по объектам имеет постоянные или переменные пространственные координаты.

Основным ресурсом и активом в сельском хозяйстве выступает земля, и вся деятельность на ней имеет пространственный характер. В связи с этим ГИС стали незаменимой платформой для сбора и анализа данных разных типов и форматов, интеграции и тесного взаимодействия со многими системами управления предприятием. Способность ГИС в динамическом комплексе одновременно отображать многие элементы землепользования и визуально моделировать рабочие процессы доказала свою эффективность и привлекательность на всех этапах сельскохозяйственного производства и управления.

Острыми проблемами отечественного сельскохозяйственного производства являются слабая оперативность и низкая эффективность принимаемых управленческих решений из-за недостаточной обеспеченности профессиональными кадрами в сельских районах, незначительного использования, в том числе в хозяйственной практике, новых информационных технологий. Специализированные

ГИС для сельского хозяйства в Европе и США давно применяются в качестве необходимого компонента системы управления предприятием. В российских сельскохозяйственных предприятиях применение ГИС носит пока фрагментарный характер. Очевидно отставание наших сельхозпроизводителей от уровня индустриально развитых стран. Однако, без сомнения, массовое внедрение информационных технологий, в том числе ГИС, в сельскохозяйственное производство неизбежно и произойдет в ближайшее время.

Следует признать, что применение ГИС в сельском хозяйстве сдерживается не только слабым кадровым обеспечением, но и неразвитостью системы создания и распространения пространственных данных. Самым дорогим компонентом систем, основанных на ГИС, является сбор и анализ данных для проектирования тематических карт и баз данных. Например, для создания ГИС сельскохозяйственного назначения требуются пространственные географические данные в виде цифровых топографических, почвенных, землеустроительных и других карт разных масштабов, аэро- и космические изображения, а также тематические данные по множеству параметров. На создание и обновление этой информации нужны время и значительные финансовые ресурсы. При этом необходимо применять современные методы и технические средства получения, хранения, обработки, представления и обмена полученной информацией.

В представленной читателю книге авторы обобщили опыт работы по созданию приложений ГИС в земледелии, накопленный в течение более 10 лет исследований.

Основная цель книги – желание авторов убедить читателя в том, что ГИС являются необходимым и наиболее удобным инструментом информационного обслуживания сельского хозяйства. Это обусловлено тем, что ГИС имеют дело с тем же объектом, что и земледелие – территорией землепользования. Современные ГИС представляют собой новый тип интегрированных информационных технологий, поэтому должны использоваться в качестве многоцелевых систем управления сельскохозяйственным производством и стать их основой.

INTRODUCTION

Geoinformation systems are currently becoming an increasingly accessible instrument for analysis and representation of spatially distributed data. Information on real objects and events in society and nature accumulated by various organizations contains a spatial component to a greater or lesser extent. Land areas, water, forest and other natural resources, buildings and structures, transport mainlines, engineering networks and communications have a spatial aspect of information. It is difficult to find a real material object, or event bound up with an object, which would not have coordinates on the Earth surface. All information on objects has constant or variable spatial coordinates.

Land is the basic resource and main asset in agriculture, and all land-based activities are of a spatial nature. GIS thus became the indispensable platform for acquisition and analysis of various data types and formats, integration and close interaction with many enterprise management systems. The ability of GIS to simultaneously represent many elements of land use as dynamic and visually simulate working processes proved to be effective and attractive at all stages of agricultural production and management.

One of the acute problems in home agricultural production is failure to make efficient and effective managerial decisions because of insufficient provision for agricultural enterprises with specialists and underuse of the new information technologies in practice. The specialized GIS have long been used for agriculture in Europe and USA as a necessary component of enterprise management systems. The employment of GIS at the Russian agricultural enterprises is of a fragmentary character. There is an obvious lag between our agricultural producers and those in industrially advanced countries. Yet the mass scale deployment of information technologies, including GIS, for agricultural production is doubtless of necessity, and will happen in the near future.

It should be recognized that the use of GIS in agriculture is limited by not only poor personnel provision but also the underdeveloped state of system to create and distribute spatial data. The most expensive components of a GIS-based system are data acquisition and analysis to design subject-related maps and databases. In order to develop GIS for agricultural purposes, for instance, you need spatial geo-data in the form of digital topographic, soil, land use planning, and other maps at various scales, satellite imagery, as well as thematic data on a variety of parameters. Creating and renewing this information take time and considerable financing. With that, you need to use modern methods and tools for obtaining, storing, processing, representing and exchanging information.

The authors of the book presented summarize experience with developing GIS applications in agronomy for ten-year work.

The main objective of the book is a desire of the authors to convince readers that GIS is a necessary and most convenient tool for information support to agriculture. This is due to the fact that GIS deals with the same object as agriculture does – land-use territory. Modern geoinformation systems represent a new type of integrated information technologies, so they should be used as multi-purpose systems for managing agricultural operations, and are their base.

ГЛАВА 1

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Географические информационные системы (ГИС) появились в 60-х годах XX в. как инструмент для отображения топографии земной поверхности и расположенных на ней объектов с использованием компьютерных баз данных. По одним источникам инициатором создания таких систем было Министерство обороны США, по другим – первая ГИС появилась в Канаде.

За это время ГИС прошли несколько этапов развития и стали доступны широкому кругу пользователей.

Процесс становления ГИС в России проходил тяжело. Развитию ГИС препятствовало законодательство, запрещающее использование картографических данных в публичном доступе, а также отсутствие программного обеспечения. После того, как картографическая основа стала более открытой и произошла легализация спутниковой связи, многие государственные и коммерческие организации стали активно разрабатывать ГИС-проекты.

Существует мнение, что более 60 % информации, содержащейся в корпоративных базах данных, имеют пространственный (географический) компонент. Считается также, что человек в своей деятельности использует более 70 % информации, имеющей пространственную привязку. Использование ГИС становится неотъемлемой частью профессиональной деятельности многих предприятий и ведомств. Скорость и простота отображения данных, возможность формирования многогранных запросов, доступ к внешним базам данных и одновременно создание и ведение внутренних баз данных, возможность интеграции с различными информационными системами – далеко не полный перечень преимуществ, которые получает пользователь, работающий с ГИС (<http://isicad.ru>).

1.1. Функции и возможности современных ГИС

В настоящее время в мире разработаны и используются десятки разнообразных ГИС-пакетов, на их базе созданы сотни ГИС-проектов. ГИС была создана в первую очередь для географии, однако сейчас используется в большом числе приложений. Например, при наборе в поисковике Google Россия словосочетания «АгроГИС» обнаруживается 1550 ссылок, в Яндексе – 5000.

ГИС применяются в многообразных сферах и направлениях территориальной деятельности: в кадастрах (земельном, водном, лесном, недвижимости и т.д.); градостроении и муниципальном управлении; проектировании, строительстве и эксплуатации различных объектов; геологических исследованиях; разработке и эксплуатации различных месторождений; сельском, лесном и водном хозяйстве; изучении атмосферы и прогнозе погоды; здравоохранении; природопользовании и при экологическом мониторинге; в торговле и маркетинге; бизнесе, управлении финансами и банковском деле; планировании и прогнозировании; обороне, безопасности и при чрезвычайных ситуациях; политике и управлении государством; науке и образовании и т.д. ГИС нужна практически везде, где используется территориально распределенная информация и есть необходимость территориального анализа, территориальной оценки и территориального прогноза [Пролеткин, 2000; Основы геоинформатики..., 2005].

Существует большое количество определений ГИС [Degani, 1980; Трофимов, Панасюк, 1984; Clarke, 1985; Конесну, 1985; Abler, 1987; Тикунов, 1989; Кошкарев, 1990; Сербенюк, 1990; Симонов, 1991; Баранов и др., 1999; Журкин, Шайтура, 2009]. Наиболее раннее из них дано в 1966 г. В. Langeforse. ГИС – это «такая система, в состав которой входят компоненты для сбора, передачи, хранения, обработки и выдачи информации о территории». Из отечественных выделяется своей полнотой определение, данное А.В. Кошкаревым [1990]. Он считал, что ГИС – это: «аппаратно-программный человеко-машинный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных, интеграцию данных и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных географических задач, связанных с инвентаризацией, анали-

зом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества».

Первоначально ГИС применялись в качестве справочно-информационных систем, позднее в виде картографических банков данных [Грегори, 1988]. Их функции ограничивались сбором, обработкой, представлением и хранением данных. Постепенное развитие программных и аппаратных средств, совершенствование методов математико-картографического моделирования, дистанционных аэрокосмических средств, глобальной спутниковой навигационной системы, а также развитие цифровой картографии и компьютерной графики привели к созданию современных ГИС. Современные ГИС предназначены не только для сбора и манипулирования данными, но используются также для анализа данных в принятии решений по управлению территорией, созданию экспертных систем и др.

Говоря о ГИС в их современном состоянии, следует уточнить, о чем именно идет речь. Инструментальные ГИС – это программные средства общего назначения, выполняющие различные сервисные функции для создания пользовательских ГИС-приложений. ГИС-технологии – это информационные технологии, обеспечивающие организацию и преобразование пространственно-распределенных данных с использованием инструментальных ГИС и автоматизированных средств получения и обработки данных. Прикладные ГИС (проблемно ориентированные ГИС, ГИС-приложения) – это средства решения конкретных задач, определяемых требованиями предметной области [Кошкарев, Каракин, 1987; Тикунов, 1991; Кошкарев, Тикунов, 1993; Осипов, 2010].

В сравнении с другими информационными системами ГИС обладают тремя важными свойствами: 1) возможностью глобальной интеграции – выявления взаимосвязей одновременно между «большими, средними и малыми объектами мира»; 2) возможностью генерализации и детализации информации, которая заключается в рассмотрении явлений и процессов в различных масштабных рядах; 3) возможностью визуализации информации [Цветков, 1999, 2000].

Методика создания прикладных ГИС проблемно ориентирована и зависима, т.е. на ее положения оказывает существенное влияние специфика предметной области. Например, основой ГИС в общем случае для решения региональных экологических проблем

является информационно-логическая модель, отражающая состав, взаимодействие и функционирование различных уровней пространственно-временной иерархии совокупности процессов в системе (природно-ресурсных, производственно-технологических, социально-экономических и др.). В результате соединения такой модели и технологических геоинформационных средств строятся конкретные схемы ГИС для решения как частных задач, так и комплексных региональных проблем [Белобородов, 1998; Смирницкая, 2006; Краев, 2012].

Примерами использования ГИС для создания многоцелевых интегрированных систем в сфере природопользования и охраны окружающей среды могут служить: гляциологическая ГИС, построенная на использовании атласа снежно-ледниковых ресурсов мира [Котляков и др., 1997]; экологическая ГИС «Природопользование», созданная в Республике Беларусь в среде ArcView [Логинов, 1998]; ГИС, применяемая для расчета зон загрязнения воздуха и участков загрязнения воды в Томске с использованием ГИС GeoGraph и ArcView 3.0 [Полищук и др., 1998]; «Экологический атлас России» [Губанов и др., 1998]; комплексный научно-технический атлас Курильских островов [Лютый и др., 2000]; «Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины» [Израэль и др., 2000]; электронный атлас «Наша Земля» [Асоян, 2000]; «Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их болезни, вредители и сорные растения» [Афонин и др., 2008, 2011].

Коллективом исследователей СО РАН (ЦСБС, ИПА, ИСи-ЭЖ) для разработки системы почвенно-ботанического районирования созданы цифровые карты биоклиматических зон и структурно-геоморфологического районирования Западно-Сибирской равнины; выделены районы, однородные по биоклиматическим и геоморфологическим показателям. Создана сеть полигонов для эталонирования региональной экосистемы. На базе ИВМ СО РАН (г. Красноярск) организован геоинформационный Интернет-портал [Якубайлик, 2007; Геоинформационные технологии..., 2011; <http://gis.krasn.ru/blog/>).

Создаются региональные ГИС. В частности, в Новосибирской области создана Государственная информационная система «Региональная геоинформационная система Новосибирской области» (РГИС НСО) в качестве единого информационного и

технологического пространства для взаимодействия исполнительных органов государственной власти, органов местного самоуправления, территориальных ведомств и подведомственных им учреждений. Система разработана для решения задач, поставленных долгосрочной целевой программой «Развитие геоинформационного обеспечения и навигационной инфраструктуры с использованием системы ГЛОНАСС и других результатов космической деятельности в интересах социально-экономического и инновационного развития Новосибирской области в 2012–2016 годах». На сайте <http://maps.nso.ru/CoGIS> для открытого доступа выложены интерактивные карты: «Инвестиционная карта Новосибирской области», «Атлас Новосибирской области», «Отделы ЗАГС Новосибирской» и «Социальное развитие Новосибирской области». Сообщается, что РГИС предназначается для решения информационных и расчетных задач, связанных с обработкой пространственных данных, и используется при управлении и планировании, инвентаризации ресурсов, мониторинге, анализе, прогнозировании и решении других конкретных задач в области территориального планирования.

РГИС НСО создана компаниями DATA+, Data East и ИТП ГРАД, при этом использовано программное обеспечение фирмы Esri (США): ArcGIS for Server Standard Enterprise, ArcGIS for Desktop Standard (ArcEditor), ArcGIS Data Interoperability, ArcGIS Network Analyst.

Наиболее распространённой в мире и России полнофункциональной ГИС в настоящее время является ArcGIS, представляющая собой семейство геоинформационных программных продуктов, создаваемое с 1982 г. компанией Inc. (США) (<http://www.esri.com/arcgis/about-arcgis>). Система ArcGIS ArcInfo версии 9.1 состоит из независимо устанавливаемых программ – ArcInfo Workstation и ArcInfo Desktop, к каждой из которых предлагается набор дополнительных модулей для расширения функциональности системы. Например, ArcInfo Desktop состоит из трех базовых приложений: ArcMap – отображение, редактирование и анализ данных, создание карт; ArcCatalog – доступ к данным и управление ими; ArcToolbox (среда геообработки) – инструменты расширенного пространственного анализа, управления проекциями и конвертации данных (всего 216 инструментов). ArcGIS Desktop построен по одной технологии с базовыми настольными

продуктами (ArcView, ArcEditor и ArcInfo) и добавляет специфическую функциональность (более 200 инструментов решения аналитических задач). Дополнительные модули работают со всеми настольными продуктами ArcGIS (<http://www.gisa.ru/1435.html>). Более поздние версии ArcGIS (выше версии 10) характеризуются усовершенствованными инструментами для работы с базами данных и геоданными, возможностями web-картографии и анализа данных. Например, при создании корпоративной базы геоданных возможно формирование табличного пространства на основе СУБД SQL Server, PostgreSQL или Oracle, а также подключение созданных баз данных с функциональными возможностями к базе геоданных или включение функций базы геоданных в существующую базу данных DB2, Informix, PostgreSQL или SQL Server.

Другой известной ГИС можно считать MapInfo Professional, разработанная корпорацией Mapping Information Systems (США) и имеющая примерно 150 000 пользователей по всему миру (<http://mapinfo.ru/product/mapinfo-professional>). В настоящее время компания ЭСТИ МАП (создана в 1992 г. группой сотрудников РАН, специалистами по обработке пространственных данных), имеющая партнерское соглашение с MapInfo Corporation (в настоящее время Pitney Bowes Software, Inc., США), является разработчиком геоинформационной системы MapInfo Professional. Эта система обладает различными функциональными возможностями: локальной настольной картографической ГИС, серверной ГИС, мобильной ГИС и пакетами (приложениями) для решения различных задач.

Широко известна GeoMedia Professional корпорации Intergraph Corporation (США), которая существует с 1969 г. GeoMedia работает в качестве современной ГИС с открытой архитектурой. Её отличительная особенность – уникальная технология встроенных серверов данных (Data Servers), позволяющая работать с пространственными данными множества промышленных форматов и систем координат. Это дает возможность исключить процедуры предварительного конвертирования и преобразования пространственных и непространственных данных. В качестве полнофункциональной ГИС включает настольные и серверные решения, а также разнообразные модули для оптимальной организации многопользовательского доступа к данным, проектирования и эксплуатации инженерных сетей, землеустройства и работу с 3D-мо-

дьями (<http://www.gisa.ru/73085.html>). Особенности работы ГИС GeoMedia SDI Pro с пространственными данными, каталогизация и регламентированное предоставление данных, а также доступ к web-сервисам позволяют использовать ее в качестве основы для инфраструктуры пространственных данных на национальном уровне и в субъектах РФ.

В мире распространены также следующие ГИС: ATLAS GIS фирмы Strategic Mapping Inc. (США), MGE фирмы INTERGRAPH (США), SPANS MAP/SPANS GIS фирмы Tydac Technologies Corp. (США), ILWIS Международного института аэрофото съемки и наук о Земле (Нидерланды), SMALLWORLD GIS фирмы Smallworld Mapping Inc. (Великобритания), SYSTEM 9 фирмы Prime Computer-Wild Leitz (США), SICAD фирмы Siemens Nixdorf (Германия).

Следует назвать также ГИС GEOGRAPH/GEODRAW (GeoDraw/ГеоГраф), разработанную в Центре геоинформационных исследований Института географии РАН (ЦГИ ИГ РАН; geocnt.geonet.ru), которая по итогам исследований, проведенных в России, занимала третье место в рейтинге программных ГИС продуктов, а также WINGIS австрийской фирмы PROGIS, занявшая пятую позицию в этом рейтинге. Для исследований окружающей среды определенным интерес представляет ГИС PC-RASTER, разработанная на географическом факультете университета г. Утрехта (Нидерланды) и обладающая развитыми аналитическими возможностями (<http://kadastrua.ru/gis-tehnologii/196-programmnye-sredstva-gis.html>).

Из полнофункциональных многоцелевых ГИС, созданных российскими компаниями, чаще других упоминаются следующие: ИнГЕО (Интегро, www.integro.ru); ГИС Панорама (КБ Панорама, Топографическая служба ВС РФ, <http://gisinfo.ru>); Парк (Ланэко, www.laneco.ru); CSI-MAP (КСИ-технология, www.jmap.rw.ru); Sinteks ABRIS (Трисофт, www.trisoftrus.com); ObjectLand (Радом-Т, www.objectland.ru).

Кроме перечисленных, в России есть еще более полутора десятков организаций, разрабатывающих ГИС, в том числе АО НИИ автоматической аппаратуры им. В.С. Семенихина (система «Горизонт»); лаборатория геоинформатики ВНИИ геосистем (ГИС Интегро); АО ЦКМ (ГИС GK); Ивановский государственный энергетический университет (ГИС WinPlan); компания «Ин-

дорСофт», г. Томск (ГИС IndorGIS 5.0); компания «ГрадоСервис», г. Казань (ГИС ActivMap GS); компания «GEOSCAN», г. Санкт-Петербург (ГИС Спутник) и другие, но их продукты менее распространены.

Основной смысл геоинформационного обеспечения для решения каких-либо задач состоит в объединении в виде единой комплексной системы сбора и хранения данных, методов их обработки, моделей природных объектов, компьютерных средств реализации алгоритмов и моделей с широким спектром сервисного обеспечения при различных видах визуализации результатов.

Существуют два подхода к созданию прикладных ГИС [Белобородов, 1998]. В первом подходе прикладные ГИС рассматриваются как средство накопления, хранения и отображения данных для фактографического и справочно-аналитического обслуживания. В этом случае создаются хранилища исходных данных в виде показателей состояния исследуемых объектов и хранилища результатов завершённых исследований в виде таблиц, графиков, карт, текстов описания. При этом набор методов и средств работы с данными определяется практически независимо от потребностей их будущего использования и подстраивается под технологии, изначально не ориентированные на проблемные нужды (например, по аналогии с библиотечными системами).

Во втором подходе прикладные ГИС рассматриваются как средство обработки данных для получения новых знаний, при котором накопление, хранение и отображение играют вспомогательную роль. В этом случае ГИС определяются как средство для решения задач, регламентированных методическими требованиями и документами конкретных направлений исследований. Такие средства должны находиться непосредственно в организациях и у пользователей, ведущих исследования, а вопрос о создании баз данных решается с позиций будущей обработки данных.

Обе точки зрения оправданно существуют и порождают сложности согласования и взаимодействия. Конструктивные элементы этого согласования касаются прежде всего разработчиков прикладных и инструментальных ГИС. С точки зрения пользователей речь идет о прикладных программных системах, которые, обладая обычными для инструментальных ГИС возможностями оперирования пространственными данными, имеют также средства решения собственно прикладных задач по комплексу имеющихся данных.

В настоящее время решение изложенных выше проблем может реализовать специально созданный инструмент, позволяющий использовать геоданные не только ГИС-специалистами, но и специалистами из других областей. Таким инструментом становятся геопорталы, являющиеся перспективным сочетанием геоинформационных и веб-технологий [Кошкарев, 2008; Антонов и др., 2014; Матузко, Якубайлик, 2016]. Они представляют собой электронные географические ресурсы, размещаемые в локальной сети или в сети Интернет. Главная цель создания геопортала – предоставление доступа к актуальным пространственным данным всем заинтересованным лицам [Кадочников и др., 2008].

Геопортал обеспечивает поиск, просмотр, загрузку метаданных, а также загрузку и публикацию пространственных данных и веб-сервисов в соответствии с правами доступа и видом лицензии на использование материалов. Можно рассматривать геопортал как специализированное программное обеспечение ГИС, которое предназначается для решения прикладных задач [Якубайлик и др., 2009].

Геопорталы важны для эффективного использования ГИС и служат ключевой составляющей инфраструктуры пространственных данных [Кошкарев, 2008]. Органы власти субъектов РФ заинтересованы или должны быть заинтересованы в разработке собственных геопорталов.

В 2009 г. по заказу Роскартографии был разработан и введен в эксплуатацию геопортал Уральского федерального округа (www.geourfo.ru) как прототип узла инфраструктуры пространственных данных (ИПД) Российской Федерации и образец создания региональных геоинформационных порталов. Существует также ряд других региональных геопорталов: Республики Татарстан (<http://karta.tatar.ru/>); Воронежской области (<http://geoportale-reg36.ru/>); Белгородской области (<http://www.map31.ru/>); Кировской области (<http://www.geoportale43.ru/>); Самарской области (<http://geoportale.samregion.ru/>); Нижегородской области (демонстрационная версия) (<http://npov.orgbismap.com/>); Республики Бурятия (<http://geogovrb.ru/>); Республики Коми (<http://gis.rkomi.ru/>); Ямало-Ненецкого автономного округа (<http://geo.gov.yanao.ru/>); Единое геоинформационное пространство Москвы (egip.mka.mos.ru); Муниципальный геопортал Томска (map.admin.tomsk.ru), геопортал СО РАН (<http://geoportale.semcs.nsc.ru/>) и др.

С появлением информационных сетей и повышением производительности компьютеров повысился спрос на самые разные данные, которые систематизируются и централизованно хранятся на серверах, хранилищах данных. Однако базы данных значительно возросли по объему хранимой информации и поддержание их в актуальном состоянии оказалось крайне сложно. Это привело к формированию новой концепции управления данными – инфраструктуре данных. Одним из практических направлений ее реализации для управления данными о земной поверхности обозначается в виде инфраструктуры пространственных данных (ИПД).

Впервые эта идея была реализована в США. Президент США Б. Клинтон 13 апреля 1994 г. издал распоряжение о создании ИПД США – National Spatial Data Infrastructure (NSDI), в 2000 г. данная инфраструктура была полностью реализована. В настоящее время в США действует сеть клиринговых палат пространственных данных (NSDI Clearinghouse Network) как основной инструмент сбора и накопления геоданных. Другим примером успешного формирования национальной ИПД является программа, созданная в странах Европейского Союза (ЕС), именуемая INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe). Концепция данной ИПД была создана в 2001 г., 4 года спустя начались работы по ее реализации; 15 мая 2007 г. вступила в силу Директива INSPIRE – законодательный акт, определяющий правовые, нормативные и научно-технические основы ИПД ЕС [Шевин, 2016].

Концепция создания Российской ИПД (РИПД РФ) была предложена специалистами ГИС-ассоциации¹. РИПД РФ была поддержана Правительством РФ в 2004 г. – проект включили в Федеральную целевую программу «Электронная Россия (2002–2010 годы)». В 2006 г. Правительством РФ утверждена Концепция создания и развития инфраструктуры пространственных данных в России (распоряжение от 21 августа 2006 г. № 1157-р). К моменту выхода концепции создания ИПД в России уже 124 страны мира имели свои национальные ИПД [Матчин, 2015].

¹Образована в 1995 г. как негосударственная и некоммерческая общественная организация, объединяющая в своих рядах специалистов высших учебных заведений, научно-исследовательских, производственных, инженерных, проектно-конструкторских, информационных и других организаций, занятых в области разработки и применения геоинформационных технологий на территории бывшего СССР.

В Концепции в частности подчеркивается необходимость расширения геоинформационных технологий как средства эффективного использования пространственных данных и развитие информационно-телекоммуникационных сетей, в том числе Интернет.

Основные идеи, лежащие в основе концепции:

– у всех данных должен быть один хозяин, который отвечает за их производство, обновление и предоставление заинтересованным лицам;

– однотипные данные должны обрабатываться и предоставляться пользователям в соответствии со стандартными протоколами, основным «шлюзом» доступа к пространственным данным должен быть Геопортал ИПД РФ (<http://nsdi.ru>);

– нет необходимости физически копировать наборы данных из разных источников в единую базу данных. Для избежания дублирования информации разрабатывается геопортал, на котором хранятся метаописания о наборе сведений и их составе, а также качестве и адресе хранения.

В соответствии с этим геопортал ИПД РФ должен состоять из двух компонентов: геоинформационного портала и геоинформационной платформы. Использование геоинформационных технологий обеспечивает постоянное наращивание его функциональных и пользовательских возможностей. Геоинформационная платформа ИПД РФ (<http://maps.rosreestr.ru>), построенная на базе серверных и программных продуктов ArcGIS, позволяет осуществлять ведение базы данных и предоставлять доступ к данным и материалам. Кроме того, с помощью инструментов публичной кадастровой карты (ПКК; <http://pkk5.rosreestr.ru>) любой пользователь может получить дополнительные сведения Государственного кадастра недвижимости (ГКН) о земельном участке, выполнить поиск участка или единицы кадастрового деления по кадастровому номеру, перейти на портал оказания государственных услуг Росреестра для оформления запроса на получение сведений по выбранному объекту.

Реализация концепции ИПД в РФ стала возможна после снятия с 2007 г. ряда ограничений, которые коснулись прежде всего систем координат, точности отображения географических объектов на общедоступных картах и использования данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) любого разрешения. Инфра-

структура пространственной информации – открытая система внутри кадастра объектов недвижимости в рамках действующего законодательства.

Приказом Росреестра «Об организации работ по разработке и реализации мероприятий по созданию региональной модели инфраструктуры пространственных данных» от 27 августа 2010 г. № 462 определен перечень субъектов Российской Федерации, в которых будут реализованы пилотные проекты. Среди них республики Татарстан, Башкортостан, Свердловская, Кировская, Ярославская, Саратовская, Ульяновская, Тверская области, Алтайский край. Приказом также создана рабочая группа, на которую возложены функции по организации разработки и последующего управления реализацией пилотных проектов.

В частности, распоряжением от 27.01.2011 г № 21-Р губернатор Алтайского края А.Б. Карлин утвердил Координационный совет по созданию региональной модели инфраструктуры пространственных данных в Алтайском крае. В этот совет вошел директор Института водных и экологических проблем СО РАН Ю.И. Винокуров.

В 2014 г. на VII Алтайском ИТ-Форуме И.Н. Ротанова (доцент кафедры физической географии и геоинформационных систем АлтГУ, главный научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН) выступила с докладом «О необходимости создания и функционирования региональной инфраструктуры пространственных данных в Алтайском крае», в 2015 г. она делала доклад на VIII Алтайском ИТ-Форуме «О необходимости создания инфраструктур пространственных данных в контексте построения и развития АПК "Безопасный город", "Безопасный край"». Из опубликованных текстов-докладов невозможно понять, на какой стадии готовности находится ИПД Алтайского края.

В литературе обсуждаются задачи создания и сопровождения единого комплекса пространственных данных [Майоров и др., 2012; Ротанова и др., 2013; Ротанова, Воробьев, 2013; Лобанов, 2014]. В частности, в работе Н. Лебедевой и Е. Смирновой [2006] предложена следующая классификация пространственных данных:

– координатная сетка и координатные рамки листов, пункты геодезической сети, геофизические данные;

- формы рельефа, отметки высот и горизонталей;
- гидрография и сопутствующие объекты, в том числе гидротехнические сооружения, батиметрия (подводный эквивалент топографии);
- населенные пункты и структура поселений, включая элементы планировки и застройки;
- производственные и социальные объекты, линии связи, ЛЭП, трубопроводы и др.;
- транспортная инфраструктура, в том числе железные и автомобильные дороги, сопутствующие объекты;
- растительность и грунты, в том числе лесные массивы и просеки;
- политико-административные единицы, политико-административные границы, пограничные знаки.

Экспертная комиссия ООН по Управлению глобальной геопространственной информацией после опроса более 80 экспертов пришла к следующим выводам (опубликованы на сайте GIS-Lab² в 2011 г.):

- значение геопространственных данных в ежедневно используемых устройствах вырастет, что изменит динамику процесса сбора данных. В сборе и создании данных вырастет роль простых граждан как активных, так и пассивных;
- свободный и открытый доступ к данным станет нормой и геопространственные данные все чаще будут рассматриваться как неотъемлемое общественное право;
- монополии национальных картографических агентств в некоторых областях специализированных пространственных данных будут полностью разрушены;
- ожидается прогресс в области сближения официальных и общественных данных, он продолжится в сторону кооперации.

Современные программно-технологические решения в области ГИС все чаще используют сервис-ориентированную архитектуру (SOA – service-oriented architecture), близкую по функциональности к корпоративным информационным системам. SOA – это

²GIS-Lab («ГИС лаборатория») создан 18 ноября 2001 г. и является независимым информационным ресурсом, посвященным ГИС и дистанционному зондированию Земли (ДЗЗ) и одновременно сообществом людей занимающихся и интересующихся этими областями знаний: <http://gis-lab.info>.

парадигма проектирования и разработки приложений как набора взаимосвязанных сервисов в вычислительной среде, модульный подход к разработке программного обеспечения, основанный на использовании распределенных слабо связанных заменяемых компонентов, оснащенных интерфейсами для взаимодействия по стандартизированным протоколам [<https://www.ibm.com/developerworks/ru/>; Матушко, Якубайлик, 2016].

Основная причина развития SOA связана с модульным подходом к разработке программного обеспечения, работающего согласно стандартизированным интерфейсам доступа к данным. Это приводит к развитию программных комплексов, разработанных в виде набора или независимых сервисов, взаимодействующих по определенному стандарту, что обеспечивает многократное и комбинированное использование различных компонентов программных комплексов.

Концепция SOA использована в картографических веб-сервисах Консорциума OGC (Open Geospatial Consortium – международная некоммерческая организация, ведущая деятельность по разработке стандартов в сфере пространственных данных и сервисов; <http://www.opengeospatial.org>), которые являются технологической основой современных геопространственных приложений, обеспечивают эффективную взаимосвязь между клиентскими приложениями и распределенными в сети Интернет пространственными данными. Иллюстрацией этого подхода может служить использование картографических и спутниковых данных в Google, Яндексe и другое как составных частей приложений различного назначения [Кадочников, Якубайлик, 2014].

Обсуждается также вопрос о целесообразности создания территориальных информационных систем (ТИС) в качестве информационных ресурсов по территориально-распределенным объектам, основной функциональностью которых является предметно-ориентированная обработка данных [Михаилиди, 2006]. Как интегрированные системы, ТИС используют различные технологии. В частности, в состав ТИС, имеющей картографический интерфейс, должен входить блок обработки и анализа пространственных данных, построенный на базе геоинформационных технологий. В этом смысле территориальные информационные системы являются прикладными ГИС или ГИС-приложениями [Михаилиди и др., 2006; Карманов и др., 2015].

В качестве примера реализации этой концепции можно привести ГИС Югры, создаваемой с 2012 г. по Постановлению Правительства Ханты-Мансийского округа – Югры (от 30 марта 2012 года № 128-п) с целью формирования единого информационного пространства округа.

Разрабатываются геоинформационные системы поддержки принятия решений (ГИС ППР). Компания «Неолант» (<http://neolant.ru>) предлагает услуги по разработке таких систем с использованием платформ Autodesk, ESRI, MapInfo, ИНГИТ. С помощью ГИС ППР осуществляется информационная поддержка решения задач управления административным образованием и подготовки информационно-аналитических материалов по различным показателям деятельности территории: экономике, демографии, социально-политическому развитию, транспортной инфраструктуре, природным ресурсам, экологической обстановке и др.

В последнее время возможности ГИС все более широко используются в изучении почвенного покрова (ПП) и его пространственной неоднородности. Последовательное развитие подходов В.В. Докучаева к изучению ПП позволило многим исследователям развить теоретическую и практическую значимость изучения и количественного описания неоднородности почв [Медведев, 2007; Гончаров, 2008; Самсонова, 2008; Медведев, Мельник, 2010; Михеева, 2010].

Анализ публикаций дает возможность сделать вывод о том, что развитие этого научного направления перспективно на основе применения геоинформационных технологий, которые предусматривают использование глобального позиционирования (GPS/ ГЛОНАСС) на полевом этапе исследований и цифрового картографирования почвенного покрова и его неоднородности в камеральном периоде [Савин, 1999, 2003, 2003а, 2005; Савин и др. 2000; Павлова, Каличкин, 2009; Сорокина, Козлов, 2009; Козлов, Сорокина, 2012]. Данное направление предусматривает использование космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения в качестве информационной основы, обеспечивающей получение пространственной информации о почвенном покрове [Савин, 1990, 1998; Красильников, Сидорова, 2007; Бындыч, 2016]. Геоинформационные технологии позволяют проводить оцифровку космических снимков, тематических карт, совмещать и визуализировать их, создавать ГИС, включающие разнообразные

атрибутивные данные. Использование ГИС при визуальном дешифрировании почв по снимкам дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и составлении почвенных контуров значительно облегчило и ускорило их создание. При этом повысилась точность как в проведении границ почвенных таксонов, так и полноты их отображения [Козлов, Сорокина, 2008, 2012; Руководство..., 2008; Сорокина, Козлов, 2009; Савин, 2012; Савин, Симакова, 2012; Симакова, 2014].

За рубежом активно разрабатываются новые методы получения, хранения, обработки и предоставления почвенной информации с использованием современных информационных технологий – международная SOTER [Global..., 1995; Tempel, 2003], европейская EUROPEAN SOIL DATABASE [Finke et al., 2001], австралийская ASRIS [McKenzie et al., 2005], канадская CANSYS [MacDonald, Valentine, 1992], цифровые модели почв [Dobos et al., 2006]. Считается, что существующие почвенные информационные системы являются системами третьего поколения, в которых присутствуют обязательные компоненты: реляционные базы данных, ГИС и сети Интернет. Связанные с моделями климатических изменений и поверхности Земли, они позволяют почвоведом моделировать почвы и почвенные процессы, принимать оперативные решения об изменении систем землепользования, контролировать и предсказывать результаты воздействия человека на окружающую среду. Основными составляющими элементами информационных технологий служат сетевые почвенные информационные системы и их ядро – цифровые модели почв и почвенного покрова [Иванов и др., 2008; Рыбальский, 2012].

По мнению А.В. Иванова с соавт. [2008], развитие почвенных информационных систем третьего поколения не коснулось российских почвоведов из-за проблем отечественной науки 90-х годов, которые привели к значительному отставанию исследований в этом направлении. В связи с этим одной из актуальных задач является восстановление работ с использованием опыта собственных и зарубежных разработок по созданию цифровых моделей почв как основы построения сетевых почвенных информационных систем.

В 2012 г. вышел сборник научных трудов Почвенного института им. В.В. Докучаева «Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования», посвященный

85-летию института. В сборнике представлены результаты современных отечественных почвенно-картографических исследований, содержащих опыт применения цифровых методов. Рассмотрены общие теоретические и методологические вопросы цифровой почвенной картографии, освещены проблемы получения информации и формирования баз данных, а также опыт применения компьютерных методов при создании почвенных карт. В редакционной статье А.Л. Иванов [2012] пишет: «...Последние десятилетия отмечены бурным развитием информационных технологий, во многом определяющих прогресс науки и перспективы развития каждого ее направления. Одной из точек роста современного почвоведения является почвенная картография, которая переживает в настоящее время переход к так называемым цифровым методам ... базирующимся на компьютерном анализе пространственных данных. Переосмысление и совершенствование на их основе базовых подходов традиционной картографии почв содержит большой инновационный потенциал...».

В настоящее время в России осуществляются работы по созданию информационной системы на основе почвенно-географической базы данных России (ИС ПГБД РФ). ИС ПГБД РФ позиционируется как программное средство и интернет-ресурс (<http://www.soil-db.ru>; <http://db.soil.msu.ru>), предназначенные для формализованного сбора данных по почвам в автономном и оперативном режимах. Целью создания ИС ПГБД РФ является обеспечение научно-технической основы государственной стратегии устойчивого рационального землепользования, мониторинга состояния почвенного покрова, охраны почв, формирования государственных стандартов качества и систем сертификации почв. Работы над проектом ПГБД РФ были инициированы Обществом почвоведов им. В.В. Докучаева в 2008 г. [Колесникова и др., 2010; Рожков и др., 2010; Шоба и др., 2010].

Атрибутивная часть базы данных ПГБД РФ состоит из двух частей. Первая часть базы данных содержит информацию о месте и времени заложения разреза, источнике информации, внешних природных и антропогенных условиях, классификационной принадлежности почвы (авторское определение и синонимия с ФАО, ЕС), а также о морфологических свойствах почвы. Вторая часть включает набор показателей химических и физических свойств почв. Для удобства пользователей эта часть разделена на два бло-

ка: основной (в котором приводятся наиболее распространенные показатели) и дополнительный.

Предполагается, что отечественная ПГБД будет осуществлять информационный обмен на основе ГИС с системами ЕС, ФАО и США, а также с другими странами с развитыми информационными ресурсами (Япония, Китай, отдельные европейские страны и др.).

Создан также Единый государственный реестр почвенных ресурсов России (ЕГРПР), который состоит из четырех разделов, включающих описание почв, почвенных ресурсов субъектов РФ, почвенно-экологического районирования и цифровой модели описания почвенных данных [2014]. Реестр рекомендуется в качестве руководства при проведении почвенных обследований и изысканий, работ по мониторингу почв (земель), рациональному их использованию и охране, государственному учету земель и земельному кадастру. Доступен в Интернете по адресу <http://egrpr.esoil.ru/index.php>.

Одно из наиболее актуальных и динамично развивающихся в настоящее время направлений с применением возможностей ГИС – пространственный анализ географических объектов, представляющих собой протяженные непрерывные поверхности. Поверхности, однозначно описываемые функцией, зависящей в общем случае от n пространственных координат, получили название n -мерные геополя. Примерами геополей служат распределение в пространстве температуры и влажности, высот рельефа местности над уровнем моря, распределения химических элементов в почвах и др. [Копнов, Ковин, 2007]. Особым направлением считается разработка методов анализа пространственно-временных геополей, когда наряду с зависимостью значений уровня геополя от пространственных координат имеется зависимость значений от времени [Копнов, 2010].

За рубежом возможности ГИС активно используются в государственной статистике. На совместном совещании ЕЭК-Евростата-ФАО-ОЭСР по европейской продовольственной и сельскохозяйственной статистике в Женеве в 2001 г. было подчеркнуто, что «...технология ГИС уже оказала влияние на материалы и деятельность многих органов сельскохозяйственной статистики во всем мире. Она позволяет улучшить оформление и повысить информативность статистических материалов для пользователей, а новые исследования и оперативные правительственные программы могут опираться на пространственные взаимосвязи. Во

многих случаях благодаря использованию ГИС эти органы имеют возможность улучшить формирование выборки, редактирование и анализ данных». Визуализация данных о росте и развитии сельскохозяйственных культур на протяжении вегетационного периода дает возможность пользователям отслеживать изменения на всех площадях в виде карты. Пользователи, располагающие инструментами ГИС, могут использовать сельскохозяйственную информацию и увязывать ее с типами почв, зонами реализации, транспортными сетями и т.д. Например, в США Национальная служба сельскохозяйственной статистики является одним из лидеров в области использования методов дистанционного зондирования для идентификации сельскохозяйственных культур, создания информационных материалов на основе спутниковой информации и разработки приложений ГИС [Hanuschak et al., 2001].

FAO в сотрудничестве с Международным институтом прикладного системного анализа (IIASA) разработали систему агроэкологического зондирования земель (agro-ecological system AEZ). Работы продолжаются в течение 30 лет. Современная система AEZ опирается на геопривязанные базы данных о земельных ресурсах, работающих в среде ГИС, а также модели данных и инструменты для принятия решений. Система AEZ содержит информацию о более чем 2,2 млн элементарных ячеек (gridcells), которые имеют геопривязанные базы данных климатических, почвенных, гидрологических и иных условий [AGRO-ECOLOGICAL ZONING..., 1996]. В настоящее время эта система называется «global AEZ» (<http://www.fao.org/nr/gaez/en/>).

В странах Евросоюза осуществляется разработка пространственной системы поддержки принятия решений в области регулирования использования пестицидов, обеспечивающей охрану почв и грунтовых вод от дальнейшего загрязнения пестицидами и их метаболитами. Проект выполняется Национальным институтом общественного здоровья и охраны окружающей среды Нидерландов (RIVM; www.rivm.nl) совместно с тремя другими европейскими институтами. В основу разрабатываемой системы положена ГИС, обеспечивающая пространственное решение задачи. При этом выделено четыре масштаба пространственного разрешения:

- масштаб отдельного поля;
- масштаб сельскохозяйственного предприятия или небольшого города;

- региональный масштаб (водосбор реки, провинция или страна);
- европейский масштаб, обеспечивающий рассмотрение всей территории ЕС.

Составляющими пространственной системы поддержки решений являются:

- модели физических и химических компонентов процесса выщелачивания и транспорта пестицидов поверхностными и подземными водами;
- база данных, содержащая наборы необходимой для моделирования и оценки пространственно-распределенной и атрибутивной информации;
- набор инструментов пространственного анализа и оценки.

Результатом пространственного моделирования выщелачивания и транспорта пестицидов являются карты опасности пестицидного загрязнения почв и подземных вод соответствующего масштаба при существующих нормах использования пестицидов. Определяемые величины интенсивности выщелачивания пестицидов в подземные воды при различных нормах их применения и соответствующих экологических критериях (в качестве которых, например, используются токсикологические и экотоксикологические показатели) и составляют основу обоснования экологически сбалансированной пестицидной политики. Последняя определяется авторами проекта как политика взвешивания альтернатив и выбора наиболее подходящих управленческих решений на основе интеграции результатов оценки риска загрязнения подземных вод и показателей социальных, экономических и политических условий.

Программное обеспечение ГИС можно разделить на пять основных классов. Первый наиболее функционально полный класс программного обеспечения – это *инструментальные ГИС*. Они могут быть предназначены для самых разнообразных задач: для организации ввода информации (как картографической, так и атрибутивной), ее хранения (в том числе и распределенного, поддерживающего сетевую работу), отработки сложных информационных запросов, решения пространственных аналитических задач (коридоры, окружения, сетевые задачи и др.), построения производных карт и схем (оверлейные операции) и, наконец, для подготовки к выводу на твердый носитель оригинал-макетов картографической

и схематической продукции. Как правило, инструментальные ГИС поддерживают работу как с растровыми, так и с векторными изображениями, имеют встроенную базу данных для цифровой основы и атрибутивной информации или поддерживают для хранения атрибутивной информации одну из распространенных систем управления базами данных: Oracle Access, Microsoft SQL Server, Access и др. Наиболее развитые продукты имеют системы run time, позволяющие оптимизировать необходимые функциональные возможности под конкретную задачу и удешевить тиражирование созданных с их помощью справочных систем.

Второй важный класс – так называемые *ГИС-вьюеры*, т.е. программные продукты, обеспечивающие пользование созданными с помощью инструментальных ГИС базами данных. Как правило, ГИС-вьюеры предоставляют пользователю (если предоставляют вообще) крайне ограниченные возможности пополнения баз данных. Во все ГИС-вьюеры включается инструментарий запросов к базам данных, которые выполняют операции позиционирования и зуммирования картографических изображений. Естественно вьюеры всегда входят составной частью в средние и крупные проекты, позволяя экономить затраты на создание части рабочих мест, не наделенных правами пополнения баз данных.

Третий класс – это *справочные картографические системы* (СКС). Они сочетают в себе хранение и большинство возможных видов визуализации пространственно распределенной информации, содержат механизмы запросов по картографической и атрибутивной информации, но при этом существенно ограничивают возможности пользователя по дополнению встроенных баз данных. Их обновление (актуализация) носит циклический характер и производится обычно поставщиком СКС за дополнительную плату.

Четвертый класс программного обеспечения – *средства пространственного моделирования*. Их задача – моделировать пространственное распределение различных параметров (рельефа, зон экологического загрязнения, участков затопления при строительстве плотин и др.). Они опираются на средства работы с матричными данными и снабжаются развитыми средствами визуализации. Типичным является наличие инструментария, позволяющего проводить самые разнообразные вычисления над пространственными данными (сложение, умножение, вычисление производных и другие операции).

Пятый класс – это *специальные средства обработки и дешифрирования данных зондирования Земли*, включающие пакеты обработки изображений, снабженные различным математическим аппаратом, позволяющим проводить операции со сканированными или записанными в цифровой форме снимками поверхности Земли. Это довольно широкий набор операций начиная от всех видов коррекций (оптической, геометрической) через географическую привязку снимков до обработки стереопар с выдачей результата в виде актуализированного топографического плана.

Кроме упомянутых классов существуют еще разнообразные программные средства, манипулирующие пространственной информацией. Это такие продукты, как средства обработки полевых геодезических наблюдений (пакеты, предусматривающие взаимодействие с GPS-приемниками, электронными тахеометрами, нивелирами и другим автоматизированным геодезическим оборудованием), средства навигации и программное обеспечение для решения еще более узких предметных задач (экология, гидрогеология и др.).

В то же время, по мнению В.Э. Дрейзина [2003], чем шире становится область применений ГИС, тем явственней ощущается «однобокость» существующих программных средств. В настоящее время на рынке имеется внушительное число программных пакетов ГИС, однако практически все они являются симбиозом чисто картографических систем с графическими средствами и методами моделирования САПР. Для эффективного использования ГИС в практических приложениях их интеллектуальность требует совершенствования. Они обладают достаточно развитыми средствами унификации, преобразования и хранения входной информации, графического моделирования и визуализации, но характеризуются недостаточно развитыми программными решениями для интеллектуального анализа данных (Data Mining), направленных на извлечение их и поддержку принятия решений.

В свое время А.М. Берлянт писал [2001]: «Сколько слоев надо ввести в ГИС для решения той или иной задачи, каков их оптимальный комплекс (именно оптимальный, а не "сколь угодно большой"); как взаимно согласовать принципы построения генетических легенд; как сгруппировать данные и какие принять шкалы; как увязать сами картографические изображения, чтобы они не противоречили одно другому и не давали при оверлее ложных

контуров; как их генерализовать, приведя к единому уровню детальности; почему в одних случаях следует использовать картограммы, а в других – картодиаграммы – все эти и еще многие-многие несравненно более трудные проблемы (например, оценка географической надежности получаемых результатов) составляют основу ГИС-технологий, а вовсе не технические вопросы ввода, обработки и визуализации». Перечисленные проблемы остаются актуальными по сей день.

Ю.А. Кравченко [2012] считает, что расширение функциональных возможностей ГИС на основе обработки знаний означает переход от ГИС к пост-ГИС – Системам Информационного Гео-Моделирования (СИГМа), и создает предпосылки для качественных изменений в геоинформационном обеспечении.

Одним из современных технологических феноменов, бурно развивающегося в настоящее время благодаря сети Интернет и компьютерной грамотности в целом, можно рассматривать так называемое открытое программное обеспечение (ПО). Размеры сообществ и вложений в развитие открытого ПО измеряются тысячами разработчиков и миллионами долларов. Открытое ПО ГИС отстает по темпам от развития операционных систем, серверного программного обеспечения и средств разработки. Однако благодаря общему развитию средств коммуникаций, географической и технологической грамотности пользователей, увеличению доступности пространственных данных (особенно ДДЗЗ) и развитию отрасли ГИС в целом, складывается благоприятная ситуация для развития открытого ПО ГИС.

Ведущие производители проприетарных ГИС (proprietary – «находящийся в собственности», «принадлежащий (кому-то)», обычно означает интеллектуальную собственность) оказались не готовы обеспечить потребности в ГИС и предложить разумную цену [Дубинин, Рыков, 2009; ftp://ftp.sovzond.ru/forum/2015/16.04_pdf/Open_software.pdf]. Примером проприетарной системы может служить программный продукт ArcGIS от американской компании ESRI. ArcGIS – типичный интегрированный ПП, возможности и стоимость которого зависят от модулей, входящих в комплект поставки.

Примерами свободных ГИС являются системы GRASS и QuantumGIS. Проект GRASS развивается на протяжении более 30 лет при поддержке правительства США, ряда НИИ и коммер-

ческих фирм. Интегрирует множество различных модулей, которые решают все задачи, характерные для геоинформационных систем. QuantumGIS – система, во многом основанная на исходном коде GRASS, также представляет широкие возможности по обработке данных, но имеет существенное различие от других GIS-приложений – простой и удобный пользовательский интерфейс, снижающий порог вхождения для новых пользователей [Заболотский, 2014].

Существующее ПО ГИС условно делится на три класса: Web ГИС, настольные ГИС и пространственные базы данных [Дубинин, Рыков, 2009]. Уровни системного ПО в обоих случаях содержат много общих инструментов. Такое тесное переплетение в перспективе дает возможность реализации различных ГИС функций как для Web, так и для настольных платформ. Будущие настольные приложения, возможно, будут использовать Web-сервисы, которые, в свою очередь, будут включать в себя функции, традиционно реализующиеся в настольных ГИС. Инструментальные слои открытых настольных платформ представлены в табл. 1.

Архитектура открытого программного обеспечения в целом и ПО ГИС в частности – это многоуровневая структура, в которой формируется программный набор взаимосвязанных компонент, обозначающих различные уровни и представленных потенциально взаимозаменяемыми продуктами. Для ПО ГИС в качестве базового

Таблица 1
Инструментальные слои открытых настольных платформ [Дубинин, Рыков, 2009]

Тип ПО	Представители	Группа
Приложения	QGIS, GRASS, OSSIM, uDig, MapWindow GIS	Пользовательский интерфейс
Среда разработки	Eclipse, QT, OpenGL, SharpDevelop	
Высокоуровневые утилиты	GeoTools, PostGIS, MapWindow GIS ActiveX	Хранение данных
Высокоуровневые скриптовые языки программирования	Python, Perl, R	Обработка данных
Низкоуровневые утилиты	Shapelib, JTS/GEOS, GDAL/OGR, GMT	Системное ПО
Низкоуровневые языки программирования	C, C++, Java, Fortran, C#, VB.NET	
Операционная система	Linux, Microsoft Windows	

(операционного) слоя могут выступать как открытые (например, ОС Linux), так и проприетарные операционные системы такие, как Microsoft Windows и Mac OS. Разделение открытого ПО ГИС на множество уровней характерно для открытых систем и объясняется моделью разработки, интенсивно использующей другие готовые, чаще всего также открытые компоненты. Инструментальные слои открытых WEB-платформ представлены в табл. 2.

По состоянию на 2017 г. в открытом доступе (ГИС с открытым исходным кодом) имеются следующие программные решения для работы с геоданными: GRASS GIS (<https://grass.osgeo.org>), gvSIG (<http://www.gvsig.com/en/gvsig-association>), QGIS (<http://www.qgis.org/ru/site/index.html>), SAGA (<http://www.saga-gis.org/en/index.html>), OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org>), Terralib (www.terralib.org), FreeGIS (<http://freegis.org>) и др.

Наиболее известные пространственные СУБД с открытым кодом – PostgreSQL (www.postgresql.org) и PostGIS (postgis.reflections.net). Первая представляет собой объектно-реляционную базу данных, способную работать с геометрическими типами данных (точками, линиями, полигонами и т.д.) и выполнять простые пространственные запросы. Вторая является расши-

Таблица 2
Инструментальные слои открытых Web-платформ [Дубинин, Рыков, 2009]

Тип ПО	Представители	Группа
Браузер	Firefox, Safari	Пользовательский интерфейс
Клиентский скриптинг	JavaScript, Java, Perl, Python	
Серверный скриптинг	PHP, Perl, Python	Хранение данных
Высокоуровневые утилиты	UMN MapServer, GeoServer	
Высокоуровневые скриптовые языки программирования	PHP, Perl, Python	Обработка данных
Низкоуровневые утилиты	Shapelib, JTS/GEOS, GDAL/OGR, GMT, PostGIS	
Низкоуровневые языки программирования	C, C++, Java, Fortran	Системное ПО
Операционная система	Linux, Microsoft Windows	

рением PostgreSQL. Это полноценная геоинформационная СУБД, поддерживающая все векторные форматы, пространственные индексы, многократное отображение координат и другие функции.

Наиболее популярным картографическим Web-сервером является MapServer (mapserver.gis.umn.edu), разработанный в Университете штата Миннесота. Для создания приложений в нем предусмотрен простой CGI-интерфейс, позволяющий динамически генерировать карты и передавать их через Интернет. Пользователи, нуждающиеся в дополнительных функциях, могут применить вместо простого браузера специальную клиентскую программу для MapServer, которая разработана канадской компанией DM Solutions (www.dmsolutions.ca) и также поставляется по лицензии Open Source. Имеется также геоинформационный Web-сервер с открытым исходным кодом – GeoServer (geoserver.sourceforge.net). Он совместим со стандартами организации Open GIS, поддерживает язык описания географической информации GML и реализован с помощью технологии Java Servlet.

Заканчивая этот раздел, нельзя не упомянуть о новом явлении в ГИС под названием «неогеография». Это понятие применяется в основном для обозначения нового поколения средств и методов работы с геопространственной информацией, отличающихся от предыдущих (традиционных карт и геоинформационных систем) тремя основными признаками: использованием географических систем координат; применением растрового представления географической информации в качестве основного; использованием открытых гипертекстовых форматов представления геоданных [Аноприенко, Ерёмченко, 2008; Дмитриева и др., 2009].

По сути, неогеография рассматривается в качестве альтернативы традиционной геоинформатике. В 2005 г. в сети Интернет появились два географических сервиса, кардинально отличных от привычных карт и ГИС – геопортал Google Maps и геоинтерфейс Google Earth. Наглядное не опосредованное картографическими условностями представление Земли как единого целого сразу выделило геоинтерфейс Google Earth среди множества хорошо известных и доступных пользователям, в том числе в сети Интернет, картографических продуктов – карт, ГИС, цифровых глобусов и т.д. Новые сервисы обрели беспрецедентную популярность (10 лет

спустя число загрузок клиентского ПО для геоинтерфейса Google Earth насчитывает миллиарды [Ерёмченко, 2016]).

Главная их особенность – естественная (сфероидная) топооснова, применение географических координат, отражающих реальную форму земной поверхности. Методы неогеографии, с помощью которых работа происходит с моделью земного сфероиды, снимают проблему проективного искажения. Дополнительной привлекательностью является отсутствие необходимости создавать «свою» топооснову, она обеспечивается упомянутыми сервисами. Пользователю остается только нанести и описать требуемые объекты. Карта в неогеографии не векторная, а растровая, получаемая непосредственно с космических аппаратов. Использование топоосновы позволяет визуализировать рельеф и дает дополнительные преимущества при работе с крупномасштабными объектами. Важна и возможность нанесения на карту оперативных сведений, интересных для узкого круга пользователей, решающих свои профессиональные задачи. При этом не требуются глубокие знания программирования. Описание выполняется на основе открытых форматов, аналогичных средствам гипертекстовой разметки [Аршинский, 2016].

Как считают Д.В. Лисицкий и С.Ю. Кацко, в течение «пятого технологического цикла» с картографией произошел ряд революционных изменений [Лисицкий, Кацко, 2012; Кацко, 2013]:

- картографическое изображение уже не служит непосредственным источником информации, а обеспечивает визуализацию геоинформации, собранной и хранимой в базах пространственных данных;
- в информационных процессах компьютерной обработки пространственных данных карта осуществляет функции специфического интерфейса между человеком и компьютерной средой;
- картографическая продукция ориентирована уже не только на удовлетворение отраслевых потребностей и на узкий круг специалистов и специализированных организаций, а на самые разнообразные потребности хозяйствующих субъектов и широких слоев населения;
- появилось большое число картографических сервисов и служб, в том числе в сети Интернет, которые существенно расширили перечень услуг по доступу к геоинформации посредством картографических изображений;
- начали развиваться новые технологические направления (переходящие на шестой технологический уклад) – мобильная

картография, трехмерная, мультимедийная и анимационная картографии.

На сайте «Неогеография, загадки пространства-времени» (<http://neogeography.ru/rus/>) опубликовано следующее: «...Неогеография даёт пользователю возможность произвольным образом выбирать ракурсы (и определяемую ими степень детальности) просмотра информации, плавно переходя при этом от одного ракурса к другому по мере необходимости. При этом становится возможным использовать ... ракурсы, невозможные ... в рамках картографической парадигмы...

При этом обеспечивается естественное и метрически точное представление трёхмерного пространства без его редукции к какой-либо поверхности. Пользователь продуктов и сервисов, в которых реализован принцип неогеографии – так называемых "геоинтерфейсов" – получает возможность оказаться "внутри" данных, а не только воспринимать их "снаружи", как в рамках картографического подхода.

Основным носителем информации в геоинтерфейсах выступают данные дистанционного зондирования – в частности, космические и аэроснимки и другие документально точные изображения, позволяющие формировать образ местности в очень широком диапазоне масштабов. Они служат при этом контекстом, с помощью которого пользователи могут создавать собственные, трёхмерные и четырёхмерные (динамические трёхмерные) модели событий, процессов и объектов...».

1.2. Интеграция ГИС и ДЗЗ

В последние годы кардинально изменились аппаратура ДЗЗ из космоса и принципы передачи, а также обработки информации. Многочисленные геостационарные, солнечно-синхронные и полярные орбитальные спутники обеспечивают глобальные наблюдения и высокую оперативность передачи данных. Материалы ДЗЗ из космоса широко используются для изучения состояния растительного и почвенного покрова, а также прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. Опыт применения спутниковой информации для решения сельскохозяйственных задач указывает на необходимость совершенствования существующих методов обработки и интерпретации кос-

мических изображений на базе современных информационных технологий.

Не секрет, что традиционная система информационного обеспечения органов управления федерального, областного и районного уровней малоэффективна. Статистическая информация передается самим производителем и поэтому не является объективной. Редкая сеть метеостанций не в состоянии достаточно подробно оценивать агрометеорологические параметры сельскохозяйственных территорий. Эти проблемы частично могут быть решены за счет внедрения новых средств и технологий сбора и обработки информации. В первую очередь речь идет о мониторинге земель сельскохозяйственного назначения на основе ДЗЗ для оценки их использования и охраны от неблагоприятных факторов, например эрозии. Дистанционные методы объективны и более оперативны в применении.

Кроме того, данные ДЗЗ активно используются в качестве одного из основных источников информации в ГИС для оперативного картографирования. К настоящему времени за рубежом и в России сформированы архивы и банки данных цифровых снимков различного разрешения. Их относительная доступность для потребителя (оперативный поиск, заказ и получение по системе Интернет), проведение съемок любой территории по желанию потребителя, возможность последующей обработки и анализа космических снимков с помощью различных программных средств, интегрированность с ГИС, превращают тандем ГИС-ДЗЗ в хорошее средство географического анализа и создания тематических цифровых карт.

Следует признать, что использование данных ДЗЗ открыло новый этап в информационном обеспечении научных исследований, связанных с комплексным изучением природной среды, оценкой земельных и других ресурсов, почвенного покрова, проектированием мероприятий по их рациональному использованию [Книжников, Кравцова, 1991; Чандра, Гош, 2008; Березин, 2011; Березин и др., 2014; Шаяхметов и др., 2015]. Вопросы создания моделей почв и карт структуры почвенного покрова мы касались в первом разделе данной главы.

Большой раздел приложений ДЗЗ в сельском хозяйстве занимает прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур. В частности, прогноз урожайности яровой пшеницы на

территории Новосибирской области с 2005 г. осуществляет СЦ ФГБУ НИЦ «Планета» [Сахарова и др., 2015]. Для расчета прогноза урожайности яровой пшеницы используется программный комплекс SDIM (System of Databases and Imitating Modeling), который реализует американскую модель биопродуктивности EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator). Адаптация модели биопродуктивности к агроклиматическим условиям Западной Сибири выполнялась Югорским НИИ информационных технологий на основе использования метеоданных и данных о фактической урожайности культур за 20 лет [Брыксин, Евтюшкин, 2005; Брыксин, 2007; Евтюшкин и др., 2010]. Модель проверялась также кафедрой теоретической кибернетики и прикладной математики Алтайского государственного университета [Хворова и др., 2000, 2013; Евтюшкин и др., 2014]. Для прогнозирования используется информация с американского спутника Terra (спектрорадиометр MODIS). Пространственное разрешение составляет 250 м, ширина полосы съемки 2300 км. Изображения интересующей территории снимаются по несколько раз в сутки, что обеспечивает мониторинг состояния посевов. В программном комплексе ArcGIS по информации с КА Landsat (пространственное разрешение составляет 30 м/пиксель) выполняется построение векторных слоев, отражающих план размещения полей в тестовых хозяйствах [Сахарова и др., 2015].

В мире разработано несколько поколений космических аппаратов и целевой аппаратуры наблюдения и связи, появились новые мульти- и гиперспектральные устройства, многочастотные радиометры и радиолокаторы, лазеры, гелиогеофизическая аппаратура и др. Технические и технологические решения прошли летную отработку на малых и микрокосмических аппаратах (КА). В результате современные спутники наблюдения эффективно решают задачи мониторинга атмосферы и поверхности планеты. Благодаря снижению массы и стоимости КА стало возможным создавать многоспутниковые системы, обеспечивая высокую оперативность, надежность и достоверность мониторинга различных объектов и процессов [Книжников и др., 2004; Изображения Земли..., 2005; Экология. Экономика. Информатика..., 2016].

Соответствующие проекты реализуются США, Канадой, странами ЕС, государствами Южной и Юго-Восточной Азии. Активно развиваются как национальные, так и корпоративные космиче-

ские системы мониторинга и обеспечения безопасности, которые включают в свой состав многоцелевые многоспутниковые космические системы ДЗЗ, связи и ретрансляции данных, навигационного, гидрометеорологического и топогеодезического обеспечения, а также технологического назначения. Фактически в последние годы сложилась мировая космическая индустрия и информационная инфраструктура наблюдения, в создании которой принимают участие практически все ведущие государства мира и международные консорциумы.

Например, конечным результатом реализуемого по инициативе США «Группой по наблюдениям Земли» (GEO) на основе 10-летнего плана (2005–2015 гг.) международного проекта «Global Earth Observation System of Systems» (GEOSS), должна стать глобальная общедоступная инфраструктура, которая в близком к реальному времени обеспечит широкий круг пользователей всеобъемлющей, обработанной информацией космического мониторинга (<http://www.earthobservations.org/>). В частности, в области сельского хозяйства планом предусмотрено создание статистических баз данных по развитию растениеводства, животноводства, аквакультуры и рыболовства; баланса питательных веществ; трансформации систем земледелия, землепользования и земельного покрова. Система сможет осуществлять прогнозы продовольственной безопасности и засух, степени и масштабов деградации земель и опустынивания [The Global Earth..., 2005].

В США вопросами применения данных ДЗЗ занимаются Служба сельскохозяйственных исследований, Служба охраны природы и стабилизации в сельском хозяйстве, Бюро по мелиорации, Бюро по управлению земельными ресурсами и др. Материалы наземных исследований, аэрофотосъемки и спутниковые данные широко используются в оценке урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности пастбищ, установлении связи между плодородием и влажностью почв, топографией местности, картографированием почвенного и растительного покрова. Служба зарубежного сельского хозяйства активно использует спутниковую информацию при мониторинге сельскохозяйственного производства в других странах. Результаты анализа публикуются на сайте <https://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production>.

Действует Европейская инициатива «Глобальный мониторинг в интересах окружающей среды и безопасности» [Global Moni-

toring for Environment and Security – GMES), направленная на формирование собственного европейского мониторингового потенциала (в проекте участвуют Франция, Италия, Германия, Канада, Израиль и ряд профильных аэрокосмических компаний других стран). GMES представляет собой вклад ЕС в GEOSS. В эту систему функционально должны входить космические системы ДЗЗ, навигации и связи. В ее рамках планируется создание глобальной системы экологического мониторинга планеты, в состав которой войдут аналитические центры, наземные станции и космическая группировка. Группировка GMES включает 13 КА наблюдения, в том числе Gelios-2, Pleiades, Cosmo-Skymed, SAR-Lupe, Spot-5, Rapid Eye, DMC2 (Topsat 2) и TerraSAR-X.

В 2004 г. начал функционировать проект «Страж Азии» (Sentinel Asia), участниками которого являются 51 организация, в том числе 44 агентства из 18 стран. Проект предусматривает создание в Азиатско-Тихоокеанском регионе системы контроля и ликвидации последствий природных катастроф на основе использования возможностей ДЗЗ в режиме времени, близком к реальному, в сочетании с ГИС и сети Интернет. Однако считается, что ввиду ограниченного состава бортовой аппаратуры, используемой в проекте КА, и специфики орбитального построения группировок решение задач прогнозирования природных и техногенных явлений в глобальном масштабе в рамках проекта вряд ли станет возможным [Abstracts..., 2010].

Во многих странах мира создаются национальные и региональные системы мониторинга сельскохозяйственных земель [Спивак и др., 2003; Султангазин и др., 2003; GIS and Mathematical Models, 2010; Monitoring global..., 2010; Мышляков, 2012]. К наиболее известным действующим системам сельскохозяйственного мониторинга можно отнести проекты MODIS и MARS (The Monitoring of Agriculture with Remote Sensing), реализуемые Объединенным исследовательским центром Еврокомиссии по мониторингу сельскохозяйственных земель. Используемые этим центром технические средства и соответствующее программное обеспечение позволяют определять площади земель и посевов, состояние растений и урожайность сельскохозяйственных культур. Причем это может быть сделано как на уровне отдельных стран или группы стран, так и отдельного района или даже отдельной фермы. Результаты ДЗЗ используются для прогноза урожайности различных

культур и наполнения рынка. Все это позволяет вырабатывать меры по стабилизации уровня доходности сельскохозяйственных производителей через применение гибкой системы цен, квот и экспортно-импортных отношений, корректировать налоговую политику.

В России также разрабатывается Национальная космическая система ДЗЗ для мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. Эта работа ведется в соответствии с «Концепцией развития государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, и формирования государственных информационных ресурсов об этих землях на период до 2020 года», утвержденной Правительством РФ в 2010 г. Мониторинг регламентируется следующими документами: «Порядок осуществления государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения». Утвержден приказом Минсельхоза России от 24 декабря 2015 года № 664 и «Порядок государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения». Утвержден приказом Минсельхоза России от 4 мая 2010 года № 150 (с изменениями на 8 августа 2012 года).

Работы по использованию ГИС в сельском хозяйстве России начались в 1999 г. в Департаменте информатики, анализа и прогнозирования и в Главном вычислительном центре (ГВЦ) Минсельхоза РФ. После проведения исследований рынка в 2001 г. по программе ARIS министерством были закуплены инструментальные средства для разработки ГИС и приобретены программные продукты компании ESRI (США) – ArcGIS (с ядром ARC INFO) как основная инструментальная среда для создания, хранения и обработки картографических данных федерального уровня и ArcView – регионального уровня. Для обработки данных ДЗЗ использовался программный продукт компании Leica-ERDAS IMAGINE, позволяющий интегрировать их с картографическим материалом в единой ГИС-среде.

На базе ФГУП «ГВЦ Минсельхоза России» (создан в 1974 г., в настоящее время объявлен банкротом) в течение нескольких последующих лет проводились работы по созданию отраслевой ГИС и системы дистанционного мониторинга земель федерального уровня. Объявлялось, что ФГУП «ГВЦ Минсельхоза России» подготовило и обеспечило отрасль значительным объемом

данных для создания отраслевой ГИС, в числе которых [Буряков, 2011]:

- векторные цифровые модели местности различных масштабов (1 : 1 000 000 и 1 : 200 000) на всю территорию РФ в форматах ArcGIS;

- тематические картографические данные: почвенные карты, карты негативных процессов, ландшафтные карты и др.;

- архивы спутниковых данных за несколько лет на всю территорию РФ;

- тематические данные по статистическим параметрам, параметрам фитосанитарного состояния регионов РФ, а также по агроклиматическим показателям.

В рамках Федеральной целевой программы (ФЦП) «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения» проведен ряд работ по мониторингу плодородия почв. Эти работы включали полевой сбор данных по их агрохимическому и эколого-токсикологическому состоянию. В рамках этой ФЦП также проводились работы по созданию цифрового слоя с границами полей севооборотов и участков земель сельскохозяйственного назначения на базе спутниковых данных высокого разрешения (30 м/пиксел и менее) и топографической основы масштаба 1 : 200 000 в формате инструментальной платформы ArcGIS для субъектов РФ. Как можно было на топооснове такого масштаба создать карты с границами участков, остается загадкой.

Следует отметить, что ни в те годы, когда «ГВЦ Минсельхоза России» «здоровствовал», ни сейчас открытого доступа к перечисленной выше информации не было и нет.

Федеральная космическая программа России на 2006–2015 гг. не предусматривала создание узкоспециализированных спутников дистанционного зондирования Земли, обладающих необходимой функциональностью, в частности обеспечивающих регулярное покрытие с высокой периодичностью всех земель, подлежащих мониторингу. Тем не менее Минсельхоз РФ в 2010 г. начал финансирование работ по созданию специализированных приборов и аппаратов для мониторинга земель, а Роскосмос в рамках заключенного соглашения с Минсельхозом должен обеспечивать их запуск и эксплуатацию (управление). Был утвержден план совместной работы с Управлением автоматических космических аппаратов и систем управления Роскосмоса по созданию космического

комплекса мониторинга земель сельскохозяйственного назначения (Космического комплекса (КК) «Космос-СХ»).

В 2010 г. на сайте ОАО «Информационные спутниковые системы им. М.Ф. Решетнёва» опубликована информация о том, что прошли первые испытания инженерно-квалификационной модели спутника дистанционного зондирования Земли «Космос-СХ». Сообщалось, что космический аппарат «Космос-СХ» будет первым спутником, изготовленным на базе новой платформы малого класса «Экспресс-500» (<https://www.iss-reshetnev.ru/>). Спутники этого класса летают на низких круговых околоземных орбитах и получают фотографические и радиолокационные данные о состоянии посевов, снежного покрова и леса (<https://www.roscosmos.ru/13146/>). Запуск космических аппаратов планировался на 2013 г. К 2017 г. аппараты, по-видимому, не запущены на орбиту, поскольку актуальной информации по этим спутникам в открытой печати и в сети Интернет авторы данной работы не нашли.

В настоящее время приемником ФГУП «ГВЦ Минсельхоза России» стал Российский центр государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения (ФГБУ «Россельхозземмониторинг»; <http://rosagroland.ru/>) и дистанционный мониторинг сельскохозяйственных земель поручен этому учреждению.

В настоящее время действуют «Система дистанционного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения агропромышленного комплекса» (СДМЗ АПК) и «Электронный атлас земель сельскохозяйственного назначения» (ФГИС АЗСН). Это две части общей системы государственного мониторинга сельскохозяйственных земель, разработкой которой занимались специалисты компании «Совзонд» (<https://sovzond.ru>) в рамках контрактов, заключенных с Минсельхозом России в 2011–2012 гг. С 2013 г. система запущена в эксплуатацию.

Первая стадия внедрения СДМЗ АПК проводилась в трех регионах – Волгоградской, Воронежской и Тамбовской областях. По окончании разработки и внедрения системы планировалось охватить космическим мониторингом все земли сельскохозяйственного назначения РФ общей площадью около 4 млн км² (<https://sovzond.ru>).

СДМЗ АПК будет обеспечивать съемку в соответствии с пятью стадиями вегетации в течение активного сельскохозяйственного сезона (плюс дополнительная оперативная съемка по запросам):

- ранневесенняя: состояние озимых культур после переэлевки;
- поздневесенняя: состояние озимых культур, всхожесть яровых культур;
- среднелетняя: уборка озимых культур, состояние яровых культур;
- осенняя: уборка яровых культур;
- предзимняя: всхожесть озимых культур.

СДМЗ АПК включает следующие подсистемы:

1. Автоматизированного обеспечения космическими снимками (три уровня):

- мониторинговая съемка среднего разрешения (22 м) космическими аппаратами UK-DMC-2, Deimos-1, Nigeriasat-X;
- съемка высокого разрешения (6,5 м) по оперативным запросам в качестве реакции на сигналы с мест о происходящих неблагоприятных для посевов явлениях, стихийных бедствиях группировкой спутников RapidEye;
- съемка сверхвысокого разрешения (0,5 м) для хозяйств, избранных эталонными, космическими аппаратами WorldView-1,2, GeoEye-1 и др.

2. Автоматизированной обработки космических снимков для получения промежуточных продуктов, на базе которых будут формироваться статистические выкладки, суммарные цифры по РФ и регионам, тематические карты на всю территорию РФ.

3. Получения оперативных статистических выкладок, отчетности по каждому региону, суммарных цифр по РФ, тематических карт на всю территорию РФ.

4. Ввода, обработки, интерпретации полевой информации в целях автоматизированного использования данных полевых исследований в системе для определения по космическим снимкам конкретных характеристик посевов.

5. Автоматизированного определения типа сельскохозяйственной культуры, произрастающей на полях, с использованием космических снимков и соответственно площадей, занятых теми или иными типами сельскохозяйственных культур, на уровнях районов, регионов, федеральных округов, РФ в целом.

6. Автоматизированного определения темпов/результатов уборки урожая озимых и яровых культур с использованием космиче-

ских снимков на уровнях районов, регионов, федеральных округов, РФ в целом.

Доступ к СДМЗ АПК обеспечивается путем создания геопортала, который представляет собой распределенную геоинформационную систему, оснащенную всем набором необходимых инструментов для обеспечения разных уровней сетевого доступа к информации специалистам, руководителям министерства, подведомственным и прочим организациям, сельскохозяйственным производителям. Объявлено, что СДМЗ АПК доступна в сети Интернет по адресу: <http://sdmz.gvc.ru>. При попытке получить доступ к этому сайту приходит информация о том, что такой сервер найти не удастся.

В противоположность информации компании «Совзонд», по данным отдела спутникового мониторинга Института космических исследований РАН (ИКИ РАН; <http://smiswww.iki.rssi.ru/default.aspx?page=144>), в настоящее время СДМЗ АПК ориентирована на оперативное получение и обработку данных приборов AVHRR (спутники серии NOAA), MODIS (спутники Terra и Aqua) и SPOT VGT (спутники серии SPOT). Данные поступают в систему из центров приема ГУ НИЦ «Планета», ЗапСибРЦПОД, ДВРЦПОД (AVHRR, MODIS), архивов USGS (MODIS – продукт MOD09) и архивов центра VITO (SPOT VGT – десятидневные безоблачные композиты) по территории всех сельскохозяйственных регионов России.

В системе также организована работа с данными высокого пространственного разрешения, в основном получаемыми приборами LANDSAT ETM (спутники LANDSAT) и HRV, HRVIR (спутники SPOT). В частности, в системе накоплен архив безоблачных данных HRV, HRVIR за 2008 г., насчитывающий более 10 000 сцен. В системе также организована возможность оперативного получения этих данных из центров приема в Самара-Интерспутник, ЗапСибРЦПОД, ДВРЦПОД. Данные высокого разрешения используются в системе в основном для определения границ полей и коррекции информации, получаемой на основе оперативных данных среднего пространственного разрешения.

Как убеждают авторы, СДМЗ АПК имеет достаточно развитую систему интерфейсов работы с данными, рассчитанными на различные группы пользователей [Толпин и др., 2010]. Доступ к WEB-интерфейсам можно получить после регистрации на информационных

серверах системы по адресу: <http://www.agrocosmos.gvc.ru>. При попытке получить доступ к этому ресурсу – ответ аналогичен.

По заявлению руководителей ФГБУ «Россельхозземмониторинг», в настоящее время у СДМЗ АПК есть проблемы с нехваткой данных оперативной космической съемки. Для успешной работы и развития системы необходима съемка обширных территорий, причем с высоким разрешением. Однако пока нет федеральной программы, направленной на проведение подобной масштабной космической съемки, поэтому используются бесплатные снимки среднего пространственного разрешения, сделанные иностранными спутниками, что сильно отражается на оперативности получения данных и не позволяет планировать съемку необходимых территорий в нужный период времени.

Что касается ФГИС АЗСН, то основной источник информации – это полевые обследования центров и станций Агрохимслужбы, которых в РФ насчитывается более 100. Эти работы проводятся в рамках ведомственного государственного заказа Минсельхоза РФ. Используются системы глобального позиционирования (GPS/ГЛОНАСС), специальное геоинформационное программное обеспечение и данные ДЗЗ. На основе полевых обследований проводится оцифровка границ полей севооборотов и сбор данных об их состоянии. Результатами выполнения государственного задания являются векторные границы контуров и полигонов сельскохозяйственных угодий, а также их семантическое описание (состояние и использование полей севооборотов, возделываемые культуры, параметры плодородия почв, данные о деградации земель) и др.

Поставка данных ДЗЗ осуществляется со спутников RapidEye и ALOS/AVNIR-2 (с разрешением 6,5 и 10 м/пиксел, актуальность снимков 2007–2012 гг.) на территорию текущего цикла агрохимического обследования (по состоянию на 2013 г. обследовано 580 тыс. км²). Доступ к материалам ДЗЗ реализован с использованием технологии пространственных WEB-сервисов. Использовались программные комплексы ArcGIS Desktop на уровне лицензии ArcView [Кормщикова, Кива, 2013].

Картографическое WEB-приложение ФГИС АЗСН (<http://atlas.mcx.ru>) обеспечивает доступ к информации о состоянии сельскохозяйственных угодий для специалистов министерства, органов государственной власти, федеральных учреждений, а так-

же юридических и физических лиц. Специализированное программное обеспечение для этого не требуется.

С 2014 г. ИКИ РАН разрабатывает WEB-сервис глобального спутникового мониторинга сельского хозяйства VEGA-GEOGLAM (<http://vega.geoglam.ru>) в рамках проекта SIGMA (https://twitter.com/SIGMA_GEOGLAM) при поддержке Рамочной программы Европейской комиссии FP7 (в качестве конкурента государственной СДМЗ АПК?). Цель сервиса VEGA-GEOGLAM – обеспечение инструментами анализа данных наблюдений за земной поверхностью, результатами их обработки и другой соответствующей информацией, в частности для тестовых участков сети SIGMA-JECAM, предназначенных для проведения исследований и разработок в области дистанционного сельскохозяйственного мониторинга (<http://smiswww.iki.rssi.ru/default.aspx?page=11>).

VEGA-GEOGLAM разработана на основе концепции геоинформационного WEB-сервиса, осуществляющего сбор спутниковой и другой пространственной информации от различных источников и предоставляющего доступ к ней удаленных пользователей для проведения анализа с использованием инструментов визуализации и обработки данных. VEGA-GEOGLAM обеспечивает доступ к данным высокого пространственного разрешения (например, Landsat, DEIMOS) для участков сети (<http://www.jecam.org>), а также к данным MODIS и полученным на их основе производным продуктам.

Доступные пользователям VEGA-GEOGLAM архивы данных MODIS и LANDSAT обновляются для территории тестовых участков сети SIGMA-JECAM в режиме, близком к реальному времени. VEGA-GEOGLAM предоставляет пользователям развитый инструментарий анализа состояния посевов на основе сезонной и многолетней динамики временных рядов вегетационных индексов для произвольно выбранных участков или определённых пользователем полигонов (объектов). Предназначена в первую очередь для использования партнерами проекта SIGMA, однако предоставляет доступ к спутниковым данным и широкому кругу пользователей.

По заказу «Роскосмоса» в рамках Федеральной космической программы 2006–2015 гг. ОАО «НИИ точных приборов» (входит в холдинг «Российские космические системы») разработал Единую

территориально-распределенную информационную систему дистанционного зондирования Земли (ЕТРИС ДЗЗ). ЕТРИС ДЗЗ объединила унифицированными техническими стандартами в рамках новой иерархии всю наземную инфраструктуру, обеспечивающую управление целевым применением российских космических аппаратов ДЗЗ, прием информации, ее обработку и передачу потребителям.

ЕТРИС ДЗЗ обеспечивает решение следующих основных задач:

- планирование применения орбитальной группировки КА ДЗЗ;
- планирование применения наземной инфраструктуры ЕТРИС ДЗЗ;
- прием и обработка информации с российских и иностранных КА ДЗЗ;
- систематизация и хранение информационных продуктов ДЗЗ;
- ведение единого каталога информационных продуктов ДЗЗ;
- доступ пользователей к информационным ресурсам ЕТРИС ДЗЗ посредством геопорталов и веб-сервисов.

В 2011–2015 гг. выполнен основной объем работ по созданию инфраструктуры государственных наземных комплексов приема, обработки и распространения информации с космических средств ДЗЗ, в том числе:

- развертывание Западно-Сибирской, Западной и Дальневосточной региональных зон ЕТРИС на базе предприятий Роскосмоса, Росгидромета и МЧС России (города Красноярск, Новосибирск, Мурманск, Хабаровск, Владивосток, Анадырь);
- организацию приема данных с зарубежных КА ДЗЗ в центрах ЕТРИС;
- организацию свободного обмена и совместного использования данных ДЗЗ от российских и зарубежных КА;
- развертывание основных компонентов единого банка геоинформационных данных (единый генеральный каталог ЕТРИС ДЗ, основные элементы территориально-распределенного архива).

В 2015 г. завершена разработка информационно-вычислительного комплекса обработки данных на основе облачных технологий (ИВКОД ОТ). ИВКОД ОТ предназначен для повышения эффективности использования аппаратных средств ЕТРИС ДЗЗ за

счет предоставления вычислительных ресурсов для функционирования программного обеспечения комплексов ЕТРИС ДЗЗ с целью повышения их производительности, а также обеспечения необходимого уровня качества сервисов обработки данных ДЗЗ [Носенко и др., 2010; Лошкарев и др., 2013; Тохиян и др., 2015].

В сентябре 2016 г. «Роскосмос» сообщил, что ЕТРИС ДЗЗ прошла государственные испытания. Начало ее штатной эксплуатации намечено на 2017 г. (<https://www.roscosmos.ru>).

Из приведенного обзора о состоянии системы космического мониторинга сельскохозяйственных объектов в России следует... Впрочем, пусть читатель сам делает выводы...

Стандартные пути доступа массового пользователя к данным ДЗЗ обеспечены механизмами получения необходимых снимков из различных источников путём их предварительного заказа на договорной основе. Стоимость снимков во многом зависит от цели их использования. Если решаются задачи в рамках проектов, обещающих высокую эффективность (градостроительные, кадастровые и т.п.), то в общей технологической цепочке стоимость снимков, как правило, не является препятствием для их приобретения. Сроки поставки архивных снимков для таких задач также можно считать приемлемыми. Обычно такие проекты сопровождаются квалифицированным составом исполнителей, для которых организация геоинформационного анализа не является какой-либо серьёзной преградой [Безбородов и др., 2015].

В настоящее время среди всего разнообразия данных ДЗЗ большая часть является коммерческой, детальные данные с разрешением менее 5–10 м/пиксел – только коммерческие, поэтому обычно в качестве высокопериодичных снимков используют свободно распространяемые в сети Интернет изображения: ежедневные Terra/Aqua MODIS (разрешение 250 м), 10–16-дневные LANDSAT-8 (15, 30 м) и Sentinel-2 (10, 20, 60 м). Планируется ввод в действие ряда других спутников со схожими характеристиками [Хайбрахманов, 2016].

Федеральным органам исполнительной власти и органам исполнительной власти субъектов РФ для обеспечения государственных нужд космические снимки передаются на безвозмездной основе. Плата в таком случае может взиматься за услуги по их тематической обработке (Постановление Правительства Российской Федерации от 28 февраля 2015 г. № 18). Для оформления

заказа на оперативную (новую) съемку и архивную информацию необходимо обратиться в НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы», который является оператором российских космических систем дистанционного зондирования Земли и представить заполненные заявки на получение данных.

В сети Интернет имеются космические снимки различного разрешения в бесплатном доступе, в основном архивные. К ним относятся: космические снимки среднего разрешения – TERRA/AQUA (MODIS); космические снимки относительно высокого разрешения – LANDSAT-7 (ETM+), LANDSAT-4,5 (TM), LANDSAT-1,3 (MSS) TERRA (ASTER), HYPERION (EO-1); CBERS (WFI, CCD, IRMSS); ENVISAT (ASAR); SPOT; TERRASAR-X; RADARSAT-1,2; космические снимки сверхвысокого разрешения – Ikonos, WorldView, QuickBird.

В свободном доступе на геосервисе SASGIS (<http://www.sasgis.org>) имеется программа SAS Планета, которая представляет возможность для просмотра и загрузки спутниковых снимков высокого разрешения и обычных карт, с таких сервисов, как Google Earth, GoogleMaps, BingMaps, DigitalGlobe, «Космоснимки», Яндекс.Карты и др.

С особенностями получения космоснимков можно ознакомиться, прочитав материалы Интернет-школы Межуниверситетского аэрокосмического центра при Географическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова ([Книжников и др., 2000]; <http://www.geogr.msu.ru/science/aero/acenter/>).

С 2004 г. ИКИ РАН издает журнал «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», в котором публикует научные статьи по актуальным вопросам развития методов и систем дистанционного зондирования Земли и использования технологий спутникового мониторинга для решения фундаментальных и прикладных задач. Журнал также уделяет внимание обсуждению теоретических и экспериментальных результатов, полученных в ходе исследований наземных экосистем, растительного и почвенного покрова и др. (<http://jr.rse.cosmos.ru>).

Одной из актуальных проблем использования космических снимков для интеграции с ГИС в приложениях к сельскому хозяйству остается их дешифрирование. В связи с этим нами проведены исследования по составлению карт земного покрова для целей аг-

роэкологической оценки земель с помощью автоматизированных методов анализа геоизображений ДЗЗ [Kalichkin, Pavlova, 2011; Антипов и др., 2012].

На геоизображениях отражаются природные комплексы, а также их составные компоненты – рельеф, гидрография, растительность, почвенный покров, морфологическая структура ландшафта в естественных границах. Изучение этих компонентов является одной из задач агроэкологической оценки земель.

При реализации процедур автоматизированного анализа используются различные методы, которые реализуют алгоритмы контролируемой и неконтролируемой классификации. Методы контролируемой классификации требуют наличия эталонов классов природных объектов, получаемых по наземным спектрофотометрическим измерениям на тестовых полигонах, т.е. стандартизированных спектров отражения. Создание эталонов классов является трудоемкой задачей, требует значительных трудовых и временных ресурсов из-за необходимости получения представительной выборки, так как в последующем осуществляется интерполяция на всю изучаемую территорию [Mather, 2004; Ландшафтно-интерпретационное..., 2005; Adams, Gillspie, 2006].

Кроме того, не всегда традиционные методы пиксельного анализа позволяют получать желаемый результат, особенно если исследования производятся при создании мелкомасштабных карт на большую территорию [Андреев, Чабан, 1999; Китов, 2000]. Поэтому при региональных агроэкологических исследованиях наибольшее значение имеют количественные методы распознавания космоснимков.

В качестве материалов исследований использованы космические снимки на ограниченную территорию Западной Сибири, полученные с искусственного спутника Земли LANDSAT-7 радиометром ETM+. Используются также дополнительные источники: цифровая топографическая карта (М 1 : 100 000), цифровая почвенная карта (М 1 : 400 000), а также литературные источники. Первоначально осуществлялись яркостные и геометрические преобразования снимков для облегчения визуального дешифрирования, повышения объективности и достоверности, а также для подготовки снимков к автоматизированному дешифрированию. Для автоматизированного дешифрирования снимков использованы два алгоритма – ISODATA и «объектно-ориентированный» алгоритм.

Первый алгоритм по существу является самоорганизующимся способом кластеризации спектральных образов объектов и основан на вычислении статистических параметров распределения яркости по всему снимку (минимальное, среднее, максимальное, стандартное отклонение). Сущность алгоритма сводится к оптимизации какого-либо показателя, например минимума суммы квадратов ошибок ε . Значение ошибки определяется по формуле

$$\varepsilon = \sum_{k=1}^K \sum_{f \in S_k} f_k - \mu_k,$$

где K – число кластеров; S_k – множество пикселей, относящихся к k -кластеру; μ_k – вектор средних значений для класса k . В алгоритме ISODATA количество кластеров в качестве различных стартовых точек выбирается произвольно и затем осуществляется кластеризация по минимуму расстояния от этих центров с использованием евклидовой метрики. После чего вычисляются векторы средних значений и находится средний квадрат ошибки ε . При каждой последующей итерации производится кластеризация по минимуму расстояний от векторов средних значений μ_k .

Второй алгоритм, реализующий «объектно-ориентированный» подход, дает достаточно высокие результаты при распознавании различных типов растительного покрова, застроенной части городов и других объектов [Yun, 2001; Gagnon et al., 2003; Кобзева, Поздина, 2008; Ahmed et al., 2010]. Особенность данного алгоритма заключается в том, что путем многоуровневой обработки автоматически выделяются на снимке не отдельные пиксели изображения, а объекты, принадлежащие определенному классу.

Карты земных покровов разрабатывались с помощью специализированного программного комплекса ENVI. На рис. 1 приведен фрагмент этой карты. При дешифрировании снимка с помощью алгоритма ISODATA задавались начальные установки – количество создаваемых классов и итераций. Данный алгоритм применялся при дешифрировании синтезированных изображений, полученных комбинацией каналов снимка LANDSAT (табл. 3).

Была создана растровая карта индексов вегетации путем вычислений нормализованного дифференциального вегетационного индекса NDVI. Этот индекс является наиболее распространенным и часто используется для классификации земных покровов, а также прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур



Рис. 1. Изображение, полученное после кластерного анализа с использованием алгоритма ISODATA

[Чимитдоржиев, Ефименко, 1998; Ivanova et al., 2007; Sudhanshu et al., 2010].

Графически он представляет изолинии растительности с возрастающим углом наклона к так называемой «почвенной линии» и вычисляется по разностям спектральной яркости в ближней инфракрасной и в красной диапазонах спектра:

$$NDVI = \frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1}$$

Таблица 3
Комбинация каналов снимка LANDSAT

Номер классификации	Комбинации спектральных каналов
1	4/3/2
2	3/2/1
3	4/5/3
4	1/2/3/4/5/7
5	1/2/3/4/5/7 + NDVI

где f_2, f_1 – яркости изображений в ближнем инфракрасном и красном участках спектрального диапазона.

Классификация данных дистанционного зондирования завершалась оценкой ее точности. Проверка точности классификации основывалась на сравнении двух карт: полученной в результате анализа геоизображений и контрольной, в качестве которой использовалась цифровая топографическая карта. В результате оказалось, что наиболее надежные результаты классификации получаются при обработке синтезированных снимков дополненными индексами вегетации (классификация № 5, при заданном числе итераций – 14, число классов – 6). Общая точность классификации алгоритмом ISODATA 87,2 %. В качестве классов распознавания выступали леса, водные объекты, травянистая растительность, болота, пахотные массивы, луговая растительность с редким лесом (табл. 4).

Однако как показали исследования, данному алгоритму присущи недостатки, которые характеризуются снижением качества классификации при увеличении числа классов распознавания. Оказалось что более достоверно распознаются объекты гидрографии, характеризующиеся гладкой поверхностью и небольшими колебаниями спектральной яркости. В этом случае процент ошибок был наиболее низким в отличие от других классов.

При реализации второго алгоритма процесс распознавания объектов осуществлялся по принципу «пиксел–примитив–объект». При реализации «объектно-ориентированного» алгоритма объекты изображения содержат дополнительную информацию о структуре объекта, его форме, связи с окружающими объектами, в том числе с частями объектов.

Различные характеристики сравнительно гомогенных примитивов получались с помощью сегментации изображений объектов. Для этого первоначально осуществлялась сегментация изображений. Целью сегментации являлось выделение областей (сегментов), однородных в заданном смысле. При этом однородность выступает признаком принадлежности области к определенному классу. В проведенных исследованиях сегментация осуществлялась для выделения областей приблизительно одина-

Таблица 4

Матрица ошибок классификации, полученная при распознавании изображений алгоритмом ISODATA

Фактический класс	Расчетный класс							Пропущенные пиксели	Процент ошибок
	Болота, увлажненные участки	Объекты гидрографии	Травянистая растительность	Луговая растительность с редким лесом	Лес	Пахотные массивы	Всего		
Болота, увлажненные участки	856	12	26	54	5	14	967	111	11,5
Объекты гидрографии	34	813	0	0	0	0	847	34	4,0
Травянистая растительность	75	0	945	46	32	54	1152	207	18,0
Луговая растительность с редким лесом	43	0	76	756	39	0	914	158	17,3
Лес	0	0	57	21	949	14	1041	92	8,8
Пахотные массивы	17	0	83	44	36	1033	1213	180	14,8

кового тона или цвета, а также для выделения областей однородных в смысле некоторого более сложного свойства (типа текстуры).

После этого была проведена классификация по алгоритму ближайшего соседа с использованием типичных образов для каждого класса распознавания. Типичные образы каждого класса распознавания получались при использовании цифровой топографической карты (рис. 2).

Полученные результаты распознавания показали, что точность классификации изображения, полученного по второму алгоритму, составила 92,6% (табл. 5).

При сравнении результатов работы двух алгоритмов, оказалось, что наиболее эффективным автоматизированным методом при составлении карт земных покровов является второй алгоритм, то есть «объектно-ориентированный». Границы контуров объектов имели более четкий, выраженный характер. При этом наиболее достоверно распознаются объекты растительного покрова (лес, травянистая растительность).

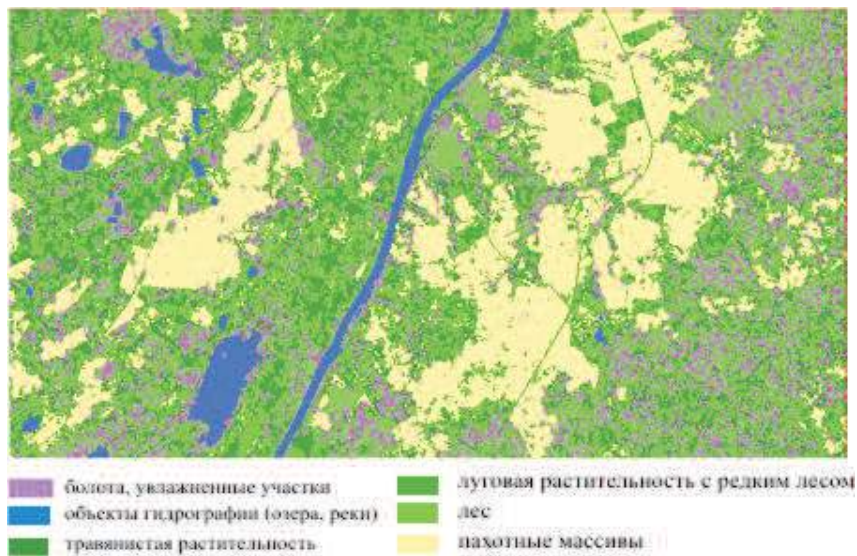


Рис. 2. Изображение, полученное после алгоритма, реализующего объектно-ориентированный подход

Таблица 5

Матрица ошибок классификации, полученная при распознавании изображений «объектно-ориентированным» алгоритмом

Фактический класс	Расчетный класс							Пропущенные пиксели	Процент ошибок
	Болота, увлажненные участки	Объекты гидрографии	Травянистая растительность	Луговая растительность с редким лесом	Лес	Пахотные массивы	Всего		
Болота, увлажненные участки	976	8	16	32	0	16	1048	72	6,9
Объекты гидрографии	13	756	0	0	0	0	769	13	1,7
Травянистая растительность	54	0	865	12	23	9	963	98	10,2
Луговая растительность с редким лесом	18	0	24	843	31	0	916	73	8,0
Лес	0	0	57	21	911	23	1012	101	10,0
Пахотные массивы	2	0	26	34	29	1234	1325	91	6,8
Всего	1063	764	988	942	994	1282	6033	448	

К числу основных достоинств алгоритма, реализующего «объектно-ориентированный» подход, следует отнести также возможность контроля результатов классификации и текстурного анализа, путем ввода ограничений форм и размеров контуров, протяженности, компактности объектов и других характеристик. При распознавании снимков данным алгоритмом получаются векторные файлы, что позволяет редактировать полученные тематические карты, выполнять количественный анализ и более достоверно устанавливать границы геообъектов.

1.3. Компьютерные программы для агрономии с использованием ГИС

Одной из проблем агрономии в современных сельскохозяйственных предприятиях является то, что имеющиеся картографические материалы обычно неполны, в значительной степени устарели и не отвечают в большинстве случаев современному состоянию землепользования. Эти материалы (карты и картограммы) в хозяйствах «доперестроичного» периода делились на три группы: землеустроительные, почвенные и агрохимические. В настоящее время землеустроительные материалы представлены либо планами внутрихозяйственного землеустройства советского периода, либо современными кадастровыми планами. Информация о почвенном покрове представлена картами, составленными чаще всего 30 – 40 лет назад, а также картами агропроизводственных группировок почв. Как показывает практика, у большинства землепользователей они отсутствуют. Информация о плодородии почв отображается агрохимическими картограммами (содержание гумуса, подвижных фосфора и калия, рН) различной давности. Последние начали актуализироваться благодаря государственному заказу Минсельхоза России в рамках реализации программы ФГИС АЗСН (см. раздел 1.2).

Например, по материалам Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии Новосибирской области в 2015 г. актуальный и качественный картографический материал на земли населенных пунктов имелся только в 35 % от общего количества. По землям других категорий на 75 % территорий муниципальных районов работы по созданию картографического материала проводились 20–35 лет назад, на 8 % – 15–20 лет назад.

Требуется создание (или обновление) планово-картографического материала на 65 % земель населенных пунктов и 100 % земель других категорий [Доклад..., 2015].

В связи с этим одной из задач системы обслуживания сельского хозяйства является создание актуального картографического материала с использованием современных информационных технологий, прежде всего за счет интеграции ГИС и ДЗЗ. Назовем это направление – «космическая картография».

Следует признать, что применение современных информационных технологий в земледелии и растениеводстве имеет специфические особенности. Это связано с тем, что большой и разнородный экспериментальный материал, накопленный в агрономической науке, в большинстве своем носит описательный характер и не может быть напрямую использован при создании информационных систем. Поэтому обязательным условием разработки компьютерных технологий, позволяющих оптимизировать производство продукции растениеводства, является математическая формализация научных знаний и практического опыта, накопленных в агрономии. Кроме того, для внедрения компьютерных информационных и советующих систем в производство необходим специализированный программный комплекс, обеспечивающий сбор, хранение, пополнение и анализ информации о полях, состоянии почвенного плодородия, приемах его сохранения или повышения, размещении сельскохозяйственных культур в севооборотах, их сортовом составе, системе удобрений и защиты растений, технологии обработки почвы и др.

Специализированные комплексы различной степени сложности и функциональности разработаны и применяются для информационного сопровождения поддержки принятия решений при реализации агротехнологий. Далее мы коротко остановимся на некоторых зарубежных и отечественных программных комплексах, представленных на российском рынке, без подробного анализа их функциональности, чтобы не оказаться невольным «пропагандистом». По этой же причине не приводятся их адреса в Интернете. Главным критерием отбора того или иного программного средства была интеграция с ГИС. Речь пойдет о специфических пользовательских программах, имеющих отношение к решению агрономических задач.

Зарубежные, присутствующие на российском рынке.

«АграрОфис» (Германия) – программное средство представляет собой интегрированную систему. В пакет входят программы «Предприятие», «Адвокат», «Растениеводство», «КРС» и «Свиноводство».

Функциональные возможности для растениеводства: в системе AgroWIN имеются модули «Землеустройство», «Полевой журнал», «ГИС-электронные карты полей» и «Точное земледелие и агрохимическое обследование почв». Модуль «Землеустройство» позволяет использовать информацию электронного кадастра предприятия при оформлении и создании договоров аренды и отчетов произвольной формы, а также осуществлять регистрацию, учет и управление площадями любых форм собственности и пользования. Модуль «Полевой журнал» предоставляет возможность вести учет всех затрат по растениеводству, что позволяет проводить анализ отрасли и на его основе принимать решение. Этот модуль представляет возможность планировать и анализировать любые мероприятия на землепользовании, проводить расчет баланса питательных веществ, автоматически создавать технологические карты, рассчитывать использованные ресурсы – финансовые и человеческие, вести историю полей. Модуль «ГИС-электронные карты полей» позволяет графически обрабатывать данные о земельных ресурсах предприятия, дает возможность проанализировать все его площади, поделить или объединить участки, подготовить и рассчитать электронные карты полей. Модуль «Точное земледелие и агрохимическое обследование почв» дает возможность рассчитывать нормы и составлять карты для внесения удобрений и средств защиты растений (СЗР), обрабатывать карты урожайности, аэрофотоснимки и спутниковые фотографии; составлять карты содержания питательных веществ, урожайности и др.; производить расчет норм внесения удобрений для текущего года и последующих лет; передавать данные на бортовые компьютеры различных производителей.

AGRO-NET NG (Германия) – программное средство предназначено для сопровождения точного земледелия. Включает модули: карты и схемы участков, картирование урожайности, производственную документацию, растровые карты, дистанционное обслуживание.

Функциональные возможности: создание базы данных по всем полям, персоналу, машинам, культурам, плодородию почв, удобрениям; планирование мероприятий по каждому полю с после-

дующим отображением на карте; ведение наглядных многослойных карт полей с возможностью редактирования границ полей, разбиения полей на участки, объединения и другие функции; занесение и отображение всех данных на дисплее компьютера и их считывание в режиме синхронизации; считывание и запись данных с бортовых компьютеров, установленных на сельскохозяйственных агрегатах и др.

AGRO-MAP PF (Германия) – программное средство для агронома. Возможно сопровождение полного цикла работ по технологии точного земледелия.

Функциональные возможности: редактирование и печать геоданных; импорт данных измерений различных производителей; администрирование данными и заказами; интерфейс с РСМСИА-накопителями; формирование карт урожайности; статистика по уборке урожая; составление технологических карт для бортового компьютера; ввод данных измерений границ полей; планирование взятия проб почвы для агрохимических анализов; импорт данных агрохимических анализов и создание картограмм.

«Ag Leader® SMS™ Advanced» (США) – программное средство используется в качестве хранилища данных для информационного обслуживания точного земледелия в нескольких хозяйствах, в органах управления АПК и консалтинговых фирмах.

Функциональные возможности: календарь анализа данных после их фактического сбора; групповые функции такие, как печать, экспортирование и импортирование данных, переработка данных, разделение данных по хозяйствам (отделениям), функции анализа; возможность автоматической загрузки спутниковых снимков полей, региона, страны или снимков с учётом широты и долготы; интегрированный трёхмерный ландшафтный обзор и трёхмерный графический вывод данных; моделирование и редактирование отчётов, графиков, результатов анализа и вывод карт на печать; схема сохранения данных для облегчения работы с разнообразными клиентами; функция анализа для сравнения различных видов данных таких, как урожайность и содержание влаги по почвам для всех полей и по всем проектам; функция анализа записи уравнений, позволяющая создавать данные и предоставлять необходимые отчеты; несколько дополнительных функций анализа таких, как вычисление средней величины за многолетний период, созда-

ние данных NDVI со снимков ИК-диапазона; детальное отслеживание финансовых показателей, картирование и предоставление отчёта.

AgroView (Греция, Франция) – программное средство для менеджеров, осуществляющих управление агропромышленным комплексом. Позволяет работать с различными базами данных, наглядно представлять их и выводить на печать.

Функциональные возможности: составление и ведение цифровых карт полей; создание базы данных по истории полей для определения оптимального севооборота; определение состояния плодородия почвы, более рациональное использование минеральных удобрений и СЗР; прогнозирование развития культур; определение площади водной эрозии; предоставление сведений, хранящихся в базе данных в табличном виде, составление карт и вывод их на печать; оценка рисков и уточнение страховых платежей.

eLMID ® AgrarGIS (Германия) – система программ, используемая в практике восточногерманских предприятий. Включает, помимо управления арендной платой, также ГИС, картирование урожайности и приложения для планшета и смартфона.

FarmWorks (США) – программное средство для управления возделыванием сельскохозяйственных культур. Позволяет формировать отчеты, создавать электронные картограммы распределения того или иного параметра на местности.

Функциональные возможности: структурирование информации о производственном процессе в базе данных; планирования работ и их характеристик; формирование заданий для механизаторов; организация и печать любых отчетов и карт по введенным в программу данным; работа с картами хозяйства (измерения, редактирование, анализ); создание картограмм распределения агрохимических характеристик почвы; создание карт для дифференцированного внесения удобрений и СЗР.

FieldRover II ® (США) – программное обеспечение бортового компьютера. Позволяет непосредственно на поле создавать электронный контур обследуемого участка, определение точек отбора проб и навигацию (используется совместно SSToolBox).

Функциональные возможности: создание электронных карт обследуемых полей; возможность ведения базы данных с привязкой атрибутов к идентификаторам топографических объектов;

работа с GPS-приемниками через COM-порт; отображение текущих географических координат; возможность навигации в заданную точку; возможность отображения длины, расстояний, площади геообъектов; работа с несколькими слоями отображения информации; поддержка импорта/экспорта данных в формате ESRI® Shapefile и mif/mid; работа с растровыми слоями JPG, Img, GeoTIFF; отображение текстовых атрибутов полигонов, линий, точек; возможность задания неограниченного количества атрибутов для геообъектов.

SSToolBox (США) – программное средство для анализа геоинформационной и агрономической информации, а также для создания карт-заданий внесения удобрений по технологии off-line.

Функциональные возможности: импорт и экспорт контуров обрабатываемых полей, разбиение поля на элементарные участки, пути и точки, отмеченные при обследовании и привязанные к координатам; поддержка карты распределения агрохимических анализов по полю, с привязкой к точкам отбора образцов; встроенный редактор формул для расчета доз внесения удобрений; создание карт-заданий на внесение минеральных удобрений и др.

К недостаткам западных разработок следует отнести высокую стоимость, сложность при эксплуатации и интеграции их с другими программами, ограничения на использование лишь в комплекте с техникой конкретных производителей, необходимостью адаптации к российским почвенно-климатическим условиям. Кроме того, в России не так много программистов, знающих продукт, поэтому возникают сложности с его сопровождением и интеграцией с другими программами. Пожалуй, по этим причинам зарубежные программы на российском рынке представлены давно, но мало где установлены. Но самое главное, отечественный сельхозтоваропроизводитель не готов в своей массе использовать современные информационные технологии в повседневной работе.

Российские, представленные на рынке. Следует отметить о достаточно однотипных предложениях программных продуктов как со стороны сервисов, так и разработчиков. Для WEB-сервисов характерна специализация на обработке данных ДЗЗ, а программное обеспечение делает упор на совмещение навигационных данных транспорта и сельскохозяйственных машин с аналитическими картами полей. Вероятно, дальнейшее развитие ГИС для сельско-

го хозяйства будет включать в себя и возможности WEB-сервиса («облачную»), и настольную («коробочную») компоненты. Кроме того, при разработке российских программ в основном решались задачи «точного земледелия», а также управленческого, бухгалтерского и налогового учетов.

ГИС «Панорама АГРО» (КБ Панорама) – программное средство предназначено для учета сельскохозяйственных угодий, ведения базы почвенного плодородия, планирования и сопровождения агротехнологий, мониторинга состояния полей и посевов; ведения базы сведений об автотранспорте и сельскохозяйственной технике, дистанционного контроля механизированных работ на основе ГЛОНАСС/GPS навигации и информационное взаимодействие с внешними программами, включая продукты на платформе “1С”.

Функциональные возможности: отображение на карте текущего местоположения; запись на карту точечных и линейных объектов по получаемым координатам GPS/ГЛОНАСС; обработка файлов обменных данных, содержащих координатное описание объектов местности; редактирование данных на карте полей; групповые оверлейные операции с контурами полей; подготовка схемы отбора почвенных проб, включая автоматическую нарезку исходных контуров полей на элементарные участки пашни заданной площади (полосы или квадраты); автоматическую расстановку точек отбора проб в центре выделенных площадных объектов, характеризующих элементарные участки пашни; подготовка схемы движения сельскохозяйственного агрегата внутри контура поля для выполнения технологической операции; обработка качественных характеристик пашни при помощи регулярных моделей данных поверхностей, включая построение матрицы высот, матрицы уклонов, матрицы экспозиций склонов; ведение учета сельскохозяйственных угодий – электронная «Земельная шнуровая книга» (на основе базы данных «Панорама АГРО»), включая ведение справочников и классификаторов, сведений о структуре хозяйства; реестра контуров сельскохозяйственных угодий, включая сведения о севообороте, об агрохимической характеристике почв, фитосанитарного мониторинга по сорнякам, болезням и вредителям; ведение реестра земельных участков, в объеме сведений государственного кадастра недвижимости; картографическая привязка реестров; формирование текстовых отчетов по паспортам полей; автоматизированное построение тематических картограмм по-

лей; автоматизированное построение границ однородных зон по матрицам качества с целью оконтуривания одинаковых по свойствам участков пашни; подготовка и автоматическое формирование отчетов по настраиваемым шаблонам; пространственная привязка к карте фотографий, содержащих GPS-координаты места съёмки в EXIF-тегах и др.

ГИС «Точный фермер» («Информтех») – программное средство для сбора, преобразования, хранения и анализа данных о собранном урожае, а также планирования будущей деятельности. Экспертная геоинформационная система.

Функциональные возможности: построение карт урожая с цветовой градацией в зависимости от количества собранного урожая на том или ином участке поля на основании данных, полученных с модуля сбора и обработки информации; построение карт внесения удобрений для переноса на миникомпьютер с модулем управления; построение карт контуров полей (при установке на ноутбук с подсоединенным GPS-устройством); получение и обработка карт рельефа; построение и обработка карт образцов почвы поля содержащих информацию об агрохимических характеристиках почв; построение карт сельхозугодий на основе аэрофотосъемки; расчет статистических характеристик карты сельхозугодия; проведение сравнительного анализа нескольких карт сельхозугодий; формирование отчетов.

ГИС «ЦПС: АгроУправление» на платформе «1С: Предприятие» («ЦентрПрограммСистем») – программное средство для автоматизации задач управления электронными картами, ведения кадастрового и агрономического учетов, проведения мониторинга транспорта и земель, автоматизации «план-фактного» учета работ на полях, управления инфраструктурой предприятия, интеграции с внешними сервисами и отраслевыми системами 1С сельскохозяйственных предприятий.

Функциональные возможности: управление и хранение электронных карт полей; инвентаризация и мониторинг земель; учет полей, земельные правоотношения, кадастровый учет по собственному или арендованному земельному фонду; агрономический учет, анализ состояния земель и посевов; анализ и интерпретация результатов ДЗЗ: карты-схемы индекса вегетации NDVI, оценка однородности всходов, анализ карт высот и уклонов для планирования севооборотов, контроль водной и ветровой эрозии почв;

стратегическое, оперативное планирование и контроль выполнения сельскохозяйственных работ; автоматизация расчета обработанной площади, «план-фактный» анализ выполненных работ по данным системам спутникового (ГЛОНАСС/GPS) мониторинга техники и бортового компьютера; управление инфраструктурой предприятия, геоанализ показателей производственных процессов; использование агрономической базы данных и картографии в «полевых условиях» с помощью полностью интегрированного с ГИС мобильного приложения mАгроУправление; интеграция ГИС ЦПС:АгроУправление с внешними сервисами и отраслевыми учетными системами 1С.

ИАС ГЕО-Агро (ЗАО «Инженерный центр "ГЕОМИР"») – программное средство предназначено для организации информации по растениеводству, ее обработки и помощи в принятии решений.

Функциональные возможности: встроенный ГИС-модуль, способный хранить все слои электронной карты хозяйства и агрохолдинга, включая прикладные слои (карты: почвенная, агрохимическая, агрофизическая, отбора проб, урожайности, внесения удобрений, направления движения техники и др.); расчёты биологической урожайности и потребностей в семенах, удобрениях и СЗР; автоматизация планирования севооборотов; ведение электронного полевого журнала; планирование технологических операций на предстоящий сезон и последующие несколько лет; отчёты о развитии сорняков, болезней и вредителей; учёт остаточных количеств пестицидов; учёт метеоданных; печать карты и др.

«КосмосАгро» («СканЭкс») – облачный онлайн-сервис предназначен для ведения непрерывного мониторинга состояния и использования сельскохозяйственных угодий, включая получение данных о границах полей, площадях посевов, состоянии сельскохозяйственных культур.

Функциональные возможности: применяется технология полностью автоматизированного тематического анализа материалов космической съемки, позволяющая получать значения вегетационных индексов и индексов условий вегетации, оценивать динамику развития посевов, посевных и уборочных работ, а также ряд дополнительных параметров состояния сельскохозяйственных угодий; оперативное выявление неблагоприятных воздействий таких, как засуха, вредители и болезни для информационной поддержки

прогнозирования урожайности; отображение на карте и оформление в виде отчетов всех материалов.

Расчет выноса NPK, Дневник агронома («Агрокультура») – мобильное приложение «Расчет выноса NPK» позволяет по справочникам рассчитать вынос азота, фосфора, калия и серы сельскохозяйственными культурами. Программа «Дневник агронома» позволяет работать с электронной картой полей, вести историю размещения культур, дневник технологических операций и учитывать расход материалов на каждом поле.

AgroNetworkTechnology («Ант») – программное средство предназначено для использования руководителями и агрономами хозяйства, позволяет получать необходимую информацию о состоянии производства, выполняемых операциях, текущем развитии растений в реальном масштабе времени.

Функциональные возможности: мониторинг посевов на основе спутниковых снимков; информация о расположении поля и возделываемой культуре, индекс развития биомассы; история полей, запланированные технологические операции; планирование севооборотов; формирование технологических карт; анализ исполнения технологий возделывания культур; оптимизация использования техники, рабочих, земельных ресурсов; объединение в одном интерфейсе информации об агрохимических характеристиках почв, данных спутникового мониторинга, создание заданий для техники; корректировка внесения минеральных удобрений на основе индекса NDVI и агрохимического обследования; мониторинг скорости движения техники при выполнении технологических операций и др.

В России имеются также разработки, не получившие широкого коммерческого распространения, но внесшие определенный вклад в развитие отечественных ГИС-приложений.

АгроГИС (ООО «Агрокультура», ЗАО КБ «Панорама»). Создавалась в 2008–2010 гг. авторским коллективом в составе А.Г. Демиденко, И.В. Слива, А.В. Трубников под руководством В.И. Кирюшина. АгроГИС включает многослойную электронную карту хозяйства и атрибутивную базу данных истории полей. Количество тематических слоев электронной карты зависит от сложности ландшафтно-экологических условий и уровня интенсификации агротехнологий.

В общем случае электронная карта полей, по мнению разработчиков, должна включать слои мезорельефа (с показом мезоформ рельефа, форм склонов); крутизны склонов; экспозиции склонов (теплые, холодные, нейтральные); микрорельефа (с показом контуров с преобладанием тех или иных форм микрорельефа, имеющих агрономическое значение); микроклимата; уровня грунтовых вод, их минерализации и состава; почвообразующих и подстилающих пород; микроструктур почвенного покрова (почвенная карта); содержания гумуса в почве; обеспеченности подвижными формами элементов минерального питания растений и микроэлементами; значения рН почв; физических свойств почв; загрязнения тяжелыми металлами, радионуклидами и другими токсикантами; эродированности почв, эрозионной опасности и другим видам физической деградации (оползней, селей и др.); переувлажнения и заболоченности почв, в том числе вторичного гидроморфизма, подтопления, мочарообразования и др.; засоленности почв (типов и степени засоления); солонцеватости почв; растительного покрова с оценкой состояния естественных кормовых угодий; лесной растительности с оценкой состояния природных лесов и лесных насаждений; распределения полезных видов животных, птиц, полезных энтомофагов, оценкой их территориального влияния; фитосанитарного состояния посевов [Демиденко и др., 2009].

При создании АгроГИС использованы профессиональная ГИС Карта 2008 КБ «Панорама» (впоследствии ГИС Карта 2011) и специальная ГИС Панорама АГРО, обладающие вместе полным набором инструментов для решения подобного рода задач.

Следует добавить, что упомянутая выше АгроГИС в настоящее время включает существенно меньшее количество электронных карт (см. раздел 2.2 [Кирюшин и др., 2013]), базы данных хозяйства и состоит из двух подсистем: агрономической и мониторинга техники.

Агрономическая подсистема обеспечивает ввод, хранение, отображение и анализ сведений о посевных площадях и состоит из трех блоков: природно-ресурсный, фенологический и технологический. В этой подсистеме осуществляется планирование оптимального размещения культур по производственным участкам с выбором вариантов технологий их возделывания. Оно производится на основе электронных карт пригодности земель для возделывания

конкретных культур. Отчет по структуре посевных площадей с пакетами агротехнологий выгружается в Excel для выполнения финансово-экономического анализа, по результатам которого структура посевных площадей и технологические карты либо утверждаются, либо отправляются на доработку [Киришин и др., 2013].

Подсистема мониторинга техники обеспечивает ввод, хранение, отображение и анализ сведений о подвижных и стационарных объектах мониторинга (см. ГИС «Панорама АГРО»).

Скорее всего, вариант методологии АгроГИС В.И. Киришина реализован в коммерческом продукте ГИС «Панорама АГРО».

БелГИС-АПК (ФГУП ВИОГЕМ, БелГУ) – программное средство предназначено для создания АРМов агронома и экономиста. Позволяет планировать, вести учёт и проводить анализ производственной деятельности в растениеводстве.

Функциональные возможности: автоматический подсчёт пространственных характеристик (длина, площадь, уклон местности); ведение мониторинга сельскохозяйственных угодий; прогнозирование урожайности в зависимости от содержания питательных элементов в почве; расчёт потребности в средствах химической мелиорации; автоматизированное создание технологических карт; получение сводной и балансовой информации по севооборотам и по хозяйству в целом; автоматизированный учёт фактических работ; автоматизированный учёт техники и персонала с расчётом экономических показателей; расчёт планируемых и фактических экономических показателей выращивания культур; нахождение минимальных расстояний между объектами сельскохозяйственного назначения при планировании затрат на автотранспорт и др. [Кабелко, Яницкий, 2004].

ЛИССОЗ (ВНИИЗиЗПЭ) – локальная информационно-справочная система по оптимизации земледелия (регистрационный № 2005610898). С ее помощью проводится паспортизация и ведение книги истории полей, рациональный выбор и размещение культур, прогноз и программирование урожайности культур, оптимизация технологических операций – с оценкой их прогнозируемой эффективности [Информационно-справочные системы..., 2002; Васенев и др., 2002; Руднев и др., 2003; Васенев, Руднев, 2004; Панкин и др., 2004; Васенев, Васенева, 2012]. Необ-

ходимо заметить, что это одна из первых программ такого типа в России.

Картографическое геоинформационное обеспечение ЛИССОЗ включает цифровые карты (тематические слои) рельефа, почв, микроклимата, структуры землепользования, гидрографической сети, транспортной сети, производственной инфраструктуры, населенных пунктов и материалов аэрофотосъемки. На основе оцифрованной карты горизонталей формируются тематические слои крутизны и экспозиции склонов. На их основе создаются карты внутрихозяйственного варьирования суммы активных температур, условий увлажнения и проблемных агроклиматических ситуаций. В результате совместного наложения и анализа генерализованных контуров почвенной карты, основных тематических слоев рельефа и климата создается карта агроэкологических типов и видов земель.

Функциональная блок-схема состоит из групп информационно-расчетных и информационно-справочных модулей. Основные информационно-расчетные модули обеспечивают рациональный выбор культуры (с учетом поля и предшественника); оценку потенциального (расчетного) урожая по совокупности прогнозируемых микроклиматических условий; уточнение расчетного урожая с учетом основных почвенно-мелиоративных, агротехнических и общих организационных ограничений; расчет потенциального выноса NPK с программируемым урожаем; корректировку расчетного урожая и основных статей баланса NPK – с учетом почвенно-агрохимических ограничений и прогнозируемой рентабельности применения удобрений на данном поле; поливариантный анализ затрат на выращивание культур; интегральная справочная система по защите растений.

ПАК АГРО (Институт динамики систем и теории управления СО РАН) – программно-аппаратный комплекс создан для поддержки точного земледелия [Бычков и др., 2011].

АГРО состоит из навигационной системы Сигнал-Агро и информационно-аналитической системы – АгроПром, интегрирующей основой которых является геоинформационное обеспечение, базирующееся на цифровой топографической основе, единых классификаторах информации, форматах и согласованных структурах баз данных. Геоинформационный ресурс обладает аппаратом пространственного анализа данных и отслеживает существующие свя-

зи объектов и явлений в пределах анализируемой территории. Модульность позволяет внедрять комплекс частями и поэтапно.

Предусматривает накопление и непрерывное использование информации обо всех аспектах производства (особенности каждого участка поля по микрорельефу, плодородию, агроклиматическим элементам и их влияние на вегетацию культур с учётом сортовой специфики, ареалы распространения вредителей, болезней, сорняков и др.). Даёт возможность принимать управленческие решения в отношении объёмов использования ресурсов (семена, удобрения, пестициды, ГСМ и др.), подбирая их в соответствии с возделываемой культурой (сортом) и условиями конкретного рабочего участка.

АФИ ГИС (Агрофизический НИИ) – программное обеспечение позволяет реализовать необходимые функции ГИС для обеспечения точного земледелия – создание карт-заданий для дифференцированного проведения агротехнических операций, внесения удобрений и СЗР ([Якушев В.П., 2013; Якушев В.В, 2015, 2016]; <http://www.agrophys.ru/services>).

Программное обеспечение представляет собой десктоп-приложение под управлением ОС Windows. Для работы используется технология .NET Framework. Визуальный пользовательский интерфейс приложения построен с применением технологии Windows Presentation Foundation (WPF). Приложение использует два программных ядра. Первое основано на библиотеке .NET DotSpatial, второе – на использовании Goden Software Surfer®. DotSpatial – это проект с открытым исходным кодом под эгидой Microsoft на портале CodePlex, который объединил в себе ряд разрозненных ранее существовавших проектов ГИС под .NET.

Функциональные возможности приложения АФИ ГИС для применения в точном земледелии: наличие визуализации пространственных данных; возможность разбивки полигона на прямоугольные участки; программная поддержка математических алгоритмов сглаживания (интерполяции); возможность импорта и экспорта векторных пространственно-распределённых данных (для вычислений); работа с атрибутами векторных слоёв; встроенная система плагинов для работы с векторными слоями (для вычислений); конвертирование данных растра в данные векторных форматов; объединение атрибутов векторных слоёв; поддержка



Рис. 3. Интерфейс пользователя программы АРМ-землеустроителя

работы с GPS/GLONASS-устройствами; поддержка создания контуров полей; импорт и экспорт векторных данных в стандартизованные форматы; возможность хранения пространственных данных в базе данных [Якушев В.В., 2015].

АРМ-землеустроителя (СибНИИЗиХ, СКОС, СибФТИ, СГГА; рис. 3) – программное обеспечение для автоматизированного проектирования землепользования и земледелия хозяйства (свидетельство № 2007614434), создан творческим коллективом ученых в 2002–2004 гг. [Разработка и применение..., 2003–2006; Добротворская и др., 2006; Альт, Каличкин, 2007, 2007а; Альт и др., 2008, 2008а].

АРМ состоит из трех основных блоков: 1) ГИС как аппаратно-программный комплекс для сбора, анализа и отражения пространственно-распределенных данных; 2) базы данных первичной информации о природных и производственных ресурсах объектов землепользования; 3) блок математического моделирования и оптимизационного выбора.

Использовали ГИС версии MapInfo (MapInfo Ltd, США). С помощью ГИС создавали цифровую модель землепользования (ЦМЗ) хозяйства. ЦМЗ состоит из серии тематических слоев в виде электронных топографической (ЦТК), почвенной (ЦПК) и землеустроительной (ЦЗК) карт хозяйства. На ЦТК отображали овраги, болота, гидрографическую и дорожную сеть, границы населенных пунктов и прочие объекты.

ЦПК содержит семантическую информацию по каждому почвенному контуру, а именно, наименование почвенной разновидности, индекс почвенной разновидности, содержание гумуса и илистой фракции, объемную массу, pH и др. На ЦЗК отражаются объекты внутрихозяйственного устройства. Семантическая информация к ЦЗК включает такие описания, как номер рабочего участка, номер поля, тип использования земельного участка (пашня, полевой или кормовой севооборот), площадь и поля базы данных для записи урожайности культур.

Базы данных, содержащие расширенную информацию о природной и организационно-технологической ситуации объекта проектирования, а также об агроэкологических требованиях сельскохозяйственных культур, структурированы в формате Excel:

«Агроэкологические требования сельскохозяйственных культур» с учетом групп сортов: ранне-, средне- и позднеспелых.

«Почвенные условия объектов исследования», в которых представлена информация о всех разновидностях почв, встречающихся в хозяйстве.

«Технологические карты производства сельскохозяйственных культур», в которых содержится информация для расчета затрат на производство сельскохозяйственной продукции с учетом различных технологических приемов.

В качестве инструментального средства для создания прикладных программ была выбрана система визуального объектно-ориентированного программирования Delphi 6 [Красноусова и др., 2003].

Блок математического моделирования и оптимизационного выбора систем землепользования и земледелия включает в себя алгоритм оценки возможной урожайности сельскохозяйственных культур при возделывании их на почвах хозяйства, затем на рабочих участках.

Особое место в АРМе занимает автоматизированная оценка продуктивности почв путем учета урожайности возделываемых культур и размещение последних на территории землепользования.

Осуществляется с помощью экспертного метода, разработанного в СибНИИЗХим [Южаков, Добротворская, 1996; Каличкин и др., 2002, 2005; Власенко и др., 2003; Южаков, Добротворская, 2003].

Основа метода заключается в определении степени значимости отдельных свойств почв для конкретной культуры в соответствии с ее агроэкологическими требованиями, т.е. учитывается влияние каждого отдельного почвенного признака на формирование потенциальной урожайности культуры. Кроме того, использование данной методики позволяет учитывать влияние негативных факторов, значительно снижающих величину плодородия, например, засоление или степень эродированности почв.

Значимость каждого почвенного признака в формировании урожайности выражается в задании ему веса и оптимального значения. Веса представляются в виде двухмерной матрицы ($W_{n \cdot m}$) размерностью n (количество культур), m – количество признаков почв. Матрица оптимальных значений признаков имеет такую же размерность ($O_{n \cdot m}$). Элементы матрицы оптимумов – величины оптимального значения почвенного признака, обеспечивающего потенциальный урожай сельскохозяйственной культуры при учете ее биологического ресурса.

Величины весов и оптимальных значений признаков почв получены в Сибирском НИИ земледелия и химизации сельского хозяйства на основе многолетних экспериментов.

При проведении экспертной оценки продуктивности почв территории учитываются: биологические требования сельскохозяйственных культур, которые выражаются в задании для каждой культуры величин весов и оптимальных значений, а также основных характеристик культур; особенности почвенного покрова территории, отражающихся в характеристиках почв; геоморфологические особенности территории; биоклиматический потенциал.

В процессе оценки все почвы рассматриваются в виде замкнутого множества природных объектов (не менее 20) оцениваемой территории («принцип непрерывности»). Отличительной особенностью использованного метода оценки почв является метод ранжирования. Метод ранжирования позволяет сделать почвенные признаки соизмеримыми и сопоставимыми между собой, и перевести их в относительные величины. Так, в процессе агроэкологической оценки почвенные разновидности упорядочиваются внутри

замкнутого множества по возрастанию значения важного признака, который затем заменяется на номер в выборке – ранг.

Ранг – положительное целое число, присваиваемое оцениваемой разновидности почвы по возрастанию значимости почвенного признака. В процессе ранжирования почвенных признаков получается матрица рангов $R_{r \cdot m}$ размерностью (r – количество всех почвенных разновидностей в хозяйстве, m – количество признаков почв).

Затем последовательно осуществляется переход с учетом весовых и оптимальных значений признаков к суммарному рангу для каждой почвенной разновидности – совокупному рангу, представляющему собой одномерный вектор-столбец размерностью r .

На конечном этапе экспертной оценки продуктивности почв осуществляется переход от относительных величин рангов к абсолютным значениям потенциальной урожайности культур. Для этого каждому суммарному рангу присваивается значение потенциальной урожайности в соответствии с функцией нормального распределения. Величины среднего и стандартного отклонений для функции нормального распределения устанавливаются по базовой урожайности для хозяйства и коэффициентам вариации урожайности.

Базовая величина урожайности культуры определяется на основе количественного значения продуктивности земель оцениваемой территории с учетом агроклиматического потенциала (средне-многолетнего для данной географической точки) при экстенсивном уровне ведения земледелия на лучшей зональной почве.

Диапазон варьирования урожайности культуры по почвенным контурам и ее средние значения определяются через коэффициент вариации по отношению к урожайности на лучшей зональной почве. Верхний диапазон значений урожайности принимается равным двум стандартным отклонениям функции нормального распределения. Нижний предел принимается равным тому же значению, что объясняется симметрией расположения кривой нормального распределения. Расчет урожайности выполняется на 95%-м уровне вероятности.

Таким образом, для каждого рабочего участка производится оценка агрономически ценных свойств почв и на этом основании делается вывод о пригодности почвенного покрова для возделывания 8 культур (пшеница, рожь, ячмень, овес, кукуруза, рапс, однолетние травы, многолетние травы).

После качественной оценки почв осуществляется группировка рабочих участков в типы земель и размещение на них севооборотов. Типизация земель осуществляется с помощью пакета статистического и графического анализа данных Statistic. Для типизации земель применяется кластерный анализ. При этом в единые кластеры объединяются рабочие участки с близкими свойствами для возделывания культуры или группы культур. В качестве исходных данных для анализа используются почвенные характеристики. После определения числа типов земель осуществляется разбиение отдельных контуров почв на заданное число групп по евклидовым расстояниям. Типизация земель затем отображается на карте, кроме того информацию о типах земель можно получить в виде отчета в doc-формате.

«АРМ-землеустроителя» был установлен в качестве рабочего места главного агронома ОПХ «Кремлевское» Коченевского района Новосибирской области.

ГЛАВА 2

ИНФОРМАЦИЯ, СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ, ВОЗМОЖНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ГИС

Стремительное развитие информационных технологий в настоящее время приобретает характер глобальной информационной революции, происходит смещение ценностей в сторону информационных ресурсов. Это приводит к образованию единого информационного пространства, доступ к которому упрощается с развитием технологий, систем коммуникаций, материально-технической базы обработки информации. Быстрыми темпами формируются мировая и национальные ИПД.

Для обеспечения минимизации расходов и оптимизации процессов производства сельскохозяйственной продукции возникает необходимость использования научно-технических достижений, перехода к новым методам информационного обеспечения и управления сельским хозяйством, широкое применение автоматизированных систем и геоинформационных технологий.

2.1. Информация и проблемы, связанные с ее получением и обработкой

Информация имеет всеобщий и универсальный характер, поэтому она классифицируется по различным категориям существования, а также видам и формам представления. Информацию делят по назначению и сферам применения, техническим или биологическим характеристикам, видам материальных носителей, языкам записи и программирования, каналам связи и способам передачи и др.

Слово «информация» – одно из самых распространенных по широте охвата всех аспектов нашей жизни: науки, производства, культуры, политики, быта. Влияние этого понятия со временем только нарастает.

Вопрос о том, что же стоит за понятием информация, начал обсуждаться совсем недавно, с середины XX в. Имеются многочисленные определения понятия «информация», которые по-разному отражают смысл и сущность этого явления. Однако несмотря на наличие специальной науки – информатики, до настоящего времени не существует универсального определения информации. Связано это с тем, что не решен основной вопрос, а именно, для всех ли «приемников» существует единый критерий отбора информации из всего множества «информационных» воздействий. Под «приемником» (потребителем) информации понимают отдельного человека, коллектив, машинную или человеко-машинную систему, использующие информацию в целях выполнения определенной работы или действия. В настоящее время распространено убеждение, что такого универсального критерия и, следовательно, универсального определения информации не существует.

Информатика в качестве научного направления понимается в трех видах: 1) теория научно-информационной деятельности; 2) наука о вычислительных машинах и их применении; 3) фундаментальная наука об информационных процессах в природе, обществе и технических системах [Черный, 2010]. В каждой из этих направлений имеются свои объекты и предметы исследований, термины и определения. По мнению Ю.Ю. Черного [2010], единой науки – информатики в России в настоящее время нет. «...О какой из трех информатик идет речь в каждом конкретном случае, следует понимать из контекста. Положение усугубляется наличием множества отраслевых информатик – социальной, гуманитарной, исторической, экономической, правовой, строительной и др. Их статус до сих пор не определен: то ли это разделы информатики, то ли части соответствующих дисциплин, названные информатикой лишь по внешнему сходству...».

В обиходе информацией называют любые данные или сведения, которые кого-либо интересуют. Например, сообщение о каких-либо событиях, о чьей-либо деятельности и т.п. «Информировать» в этом смысле означает «сообщить нечто, неизвестное раньше». Одно и то же информационное сообщение (статья в научном журнале или в газете, объявление, письмо, телеграмма, справка, рассказ, чертёж, радиопередача и т.п.) может содержать разное количество информации для разных людей – в зависимости от их

предшествующих знаний, от уровня понимания этого сообщения и интереса к нему.

Основатель кибернетики – науки об управлении и связях в машинах и живых организмах Норберт Винер в свое время сказал: «Информация – есть информация, а не материя и не энергия». По Н. Винеру [1958], «информация – это обозначение содержания, полученного из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему и приспособления к нему наших чувств. Процесс получения и использования информации является процессом нашего приспособления к случайностям внешней среды и нашей жизнедеятельности в этой среде».

Согласно БСЭ [1972], информация (от лат. *informatio* – разъяснение, изложение) первоначально понималась как сведения, передаваемые одними людьми другим устным, письменным или каким-либо другим способом (например, с помощью условных сигналов, с использованием технических средств и т.д.), а также сам процесс передачи или получения таких сведений. Позднее это понятие было расширено и включило в себя обмен сведениями не только между человеком и человеком, но также между человеком и машиной (автоматом), автоматом и автоматом; обмен сигналами в животном и растительном мире. Передачу признаков от клетки к клетке и от организма к организму также стали рассматривать как передачу информации.

По мнению Е.В. Луценко [2002], без наличия потребителя, хотя бы потенциального, говорить об информации бессмысленно. Информация – есть количественная мера снятия неопределенности. Если сведения не нужны, они представляют собой «шум», а не информацию. Если сведения способствуют принятию неправильного решения, они представляют собой дезинформацию.

Стандарт ISO 2382/1-1984, E/F 01.01.02 определяет информацию следующим образом: «Информация (в процессах обработки данных и в офисных машинах) – это значение, которое человек присваивает данным на основе имеющихся соглашений. Данные – это представление данных и инструкций в виде, удобном для передачи и обработки человеком или машиной».

Поэтому данные можно обозначить как зарегистрированные сведения об объекте независимо от того, дошли они до какого-нибудь «приемника» и интересуют ли они его. В связи с этим информацию можно понимать как данные, ценные для потребителя.

Такое определение оказывается наиболее целесообразным для анализа информационных процессов и подчеркивает относительную «важность» той или иной информации для решения конкретных задач. В такой трактовке данные представляют собой потенциальную информацию. Информацией они становятся лишь по предоставлению их «приемнику» [Парфилова и др., 2012]. Информация не отождествляется также со знаниями. Информация – собрание данных, тогда как знание предполагает постижение действительности сознанием, организующим данные путем их анализа [Избачков, Петров, 2011].

Существует множество классификаций информации, ее видов и форм [Коган, 1981; Чудинов, Осипова, 2013]. Так, в прикладном значении выделяются четыре основных вида информации: контрольно-измерительная, учетно-статистическая, научно-техническая и общественно-политическая. Контрольно-измерительная та, которая связана с постоянным техническим контролем на производстве и в научных исследованиях. Она фиксируется приборами и первичными учетными документами (таблицами, магнитными носителями и т.п.) и используется в целях регуляции процессов. Учетно-статистическая включает в себя данные, которые поступают главным образом в цифровом виде и отражают развитие экономики, культуры, здравоохранения, образования и т.д. Так, например, широко применяются разного рода кадастры, реестры и регистры в области водного, лесного и сельского хозяйства, геодезии и картографии, геологии и экологии, гидрометеорологии, землеустройства и землепользования, стройиндустрии, а также данные государственного учета ресурсов животного и растительного мира. Научно-техническая информация включает в себя разнообразные данные, характеризующие состояние тех или иных наук, технические достижения. Эта информация отражается обычно в массе специальной литературы по разным отраслям науки, промышленного и сельскохозяйственного производства и используется в основном узким кругом специалистов. Общественно-политическая информация – сведения, возникающие в повседневной экономической, политической и культурной жизни общества.

В качестве примера можно привести классификацию информации В.Г. Афанасьева. Он выделяет информацию обыденную (эмпирическую) и научную (систематизированную) и делит их на внешнюю и внутреннюю. Первая поступает в систему извне, вто-

рая вырабатывается в ней самой. Кроме того, информация, идущая от субъекта к объекту управления, является прямой, информация, путь которой пролегает от объекта к субъекту, – обратной. По В.Г. Афанасьеву [1980], информация может быть плановой и прогностической (анализ с точки зрения целенаправленности, нормативности, разнообразия, оптимальности и др.), директивно-нормативной и контрольно-учетной, кодовой и естественной и др.

Существует понятие о формах информации – абсолютной, относительной и аналитической [Луценко, 2002]. Абсолютной принято считать ту информацию, которая содержится в абсолютных числах, таких как количество чего-либо, взятого «само по себе», т.е. безотносительно к объему совокупности, к которой оно относится.

Относительная информация – это информация, содержащаяся в отношениях абсолютного количества к объему совокупности, измеряется в частях, процентах, промиле, вероятностях и др. Из относительной информации, взятой изолированно, делать какие-либо обоснованные выводы невозможно. По мнению Е.В. Луценко, те, кто делает это сознательно, вводят в заблуждение некомпетентных читателей («есть истина, есть заблуждение, а есть статистика»). Для того чтобы о чем-то судить по процентам, нужен их сопоставительный анализ, т.е. анализ всего процентного распределения [Луценко, 2002].

Аналитическая информация – это информация, содержащаяся в отношении вероятности (или процента) к некоторой базовой величине, например, к средней вероятности по всей выборке. Аналитическими являются также стандартизированные величины в статистике и количество информации в теории информации. Аналитическая информация позволяет делать содержательные выводы об исследуемой предметной области. Чтобы сделать аналогичные выводы на основе относительной и особенно абсолютной информации требуется ее предварительная обработка. Эта обработка и составляет значительную долю трудоемкости работы аналитиков и экспертов [Луценко, 2002].

В случаях, когда говорят об автоматизированной работе с информацией посредством каких-либо технических устройств, обычно в первую очередь интересуются не содержанием сообщения, а тем, сколько символов это сообщение содержит.

Именно при решении проблем передачи информации была создана теория информации, у истоков которой стояли инжене-

ры-связисты. Первое количественное определение информации принадлежит Р. Хартли [1959], который в своей статье в 1928 г. предложил высчитывать информацию как логарифм от общего количества результатов (исходов) опыта (т.е. чем больше возможных исходов, тем больше информации может принести отдельный исход). Основным недостатком определения Хартли было то, что он предлагал не различать исходы опыта, имеющие разные вероятности, относя различие между ними к несущественным «психологическим факторам». Тем не менее оказалось, что учитывать их необходимо, поскольку интуитивно ощущалось, что редко и часто встречающиеся факты (символы) могут нести различную информационную нагрузку.

Недостаток определения Р. Хартли спустя два десятилетия исправил математик К. Шеннон [1963], который считается основателем «классической теории информации» и количественного подхода к информационным процессам. Он установил единицу количества информации и доказал теорему о пропускной способности канала связи, а именно, при скоростях передачи, превышающих пропускную способность, не существует таких методов кодирования и декодирования, которые обеспечивали бы восстановление передаваемого сигнала. Им были предложены вероятностные методы определения количества передаваемой информации. К. Шеннон предложил также меру неопределённости, равную произведению вероятности на её же логарифм. К. Шеннон назвал эту величину «энтропией» по аналогии с физической энтропией, чьё определение выглядит схожим образом (в математике и кибернетике информация является мерой устранения неопределённости (энтропии), мерой организации системы).

Дальнейшее развитие теория информации получила в трудах Л. Бриллюэна [1889–1969] – известного французского физика. Л. Бриллюэн [1966] ввёл величину, обратную энтропии – негэнтропию, определяемую как энтропия, взятая с обратным знаком (в физике – возрастание энтропии характеризует увеличение хаотичности в системе). Если энтропия символизирует «закон обесценивания, правило снижения уровня», то негэнтропия связывается с ценностью и редкостью, эквивалентными с точки зрения физики. Эволюция системы с растущей энтропией приводит к тому, что система теряет свою неповторимую организацию, становясь более похожей на некий среднестатистический стандарт. По

Л. Бриллюэну: «Любая добавленная информация увеличивает негэнтропию системы. ...Это приводит к важному соображению: мы можем установить количественную меру информации через соответствующий прирост негэнтропии». Л. Бриллюэн предложил выражать информацию (I) и энтропию (S) в одних и тех же единицах – информационных (битах) или энтропийных эрг·град⁻¹. Тем самым, по его мнению, была получена возможность рассчитывать количество информации, зная энтропию системы, и, напротив, рассчитывать энтропию системы, зная количество содержащейся в ней информации.

По мнению некоторых ученых, столь широкая трактовка термина «информация» в «классической» теории информации приводит к невозможности его строгого определения и, следовательно, использования. В этой связи В.В. Налимов [1979] писал: «Мы не умеем определить, что есть "информация", и будем считать, что это такое сложное понятие, смысл которого раскрывается при чтении тех фраз, в которых оно употребляется».

В.И. Корогодина соавт. [2000] по этому поводу замечают, что приходится либо отказаться от употребления термина «информация», либо каждый раз давать ему свое частное определение. Оба выхода из положения им представляются неудовлетворительными и ненужными. В большинстве случаев смысловой полиморфизм вызван тем, что под «информацией» часто понимают нечто, давно имевшее другое название и вовсе не соответствующее этому слову, например сложность, гетерогенность, энтропия (или негэнтропия), логарифм вероятности какого-либо события и т.д.

Философские проблемы информации (философия информации) подробно рассмотрены в работах А.В. Соколова [2010] – профессора кафедры информационно-управляющих и мультимедиа систем Санкт-Петербургского государственного института культуры. Для примера приведем одну из его дефиниций: «Информации, как и изумрудных городов, нет в объективной действительности. Правы информационные нигилисты: «...никто еще не видел ни как субстанцию, ни как свойство эту загадочную информацию». Информация – искусственно созданный умственный конструкт, плод информационного подхода. Причем информационный подход первичен (сперва оденьте «информационные очки!»), а информация вторична». Интересующимся читателям можно рекомендовать его книгу «Философия информации», изданную в 2010 г.

В настоящее время существует несколько новых вариантов теории информации. С подробным изложением всех появившихся предложений можно ознакомиться в работах [Мелик-Гайказян, 1998; Габидулин, Пилипчук, 2007; Хургин, 2007; Успенский, Вьюгин, 2010).

Применительно к компьютерной обработке данных под информацией понимают некоторую последовательность символических обозначений (букв, цифр, закодированных графических образов и звуков и т.п.), несущих смысловую нагрузку и представленных в понятном компьютеру виде. Каждый новый символ увеличивает информационный объём сообщения.

Поскольку в данной работе речь пойдет об использовании информации в агрономических геоинформационных системах, то логично рассмотреть современное состояние вопросов о способах ее получения и обработки.

Агрономическая информация чаще всего получается из опыта (в смысле эксперимента) или наблюдения. В гносеологии – это опытное эмпирическое знание (в отличие от понимания опыта в качестве философской категории, фиксирующей целостность и универсальность человеческой деятельности как единства знания, навыка, чувства и воли). Результатом опытного знания выступает эмпирический факт, событие, явление [Ильин, 2005]. Для опытного знания характерно описание фактов, их объяснение, систематизация и каталогизация. Опытном называют также наблюдение какого-либо явления при выполнении некоторого комплекса условий и действий, который каждый раз при повторении опыта должен строго выполняться (принцип воспроизводимости).

Количественная характеристика опыта состоит в определении получаемых из него некоторых величин. Из-за влияния различных трудно учитываемых факторов (условия при этом остаются строго одинаковыми) результаты экспериментов в серии опытов имеют случайный непредсказуемый характер, а сами величины оказываются случайными. Считается, однако, что в длинной серии опытов можно установить общие статистические закономерности, присущие реальным явлениям (именно поэтому длительные стационарные опыты в агрономии имеют важное значение). Статистические закономерности отражаются в вероятности значений, полученных из опыта случайных величин.

Агрономический опыт существенно отличается от других его видов (в физике, химии, механике и т.п.) тем, что проводится во времени с нерегулируемыми и зачастую слабо прогнозируемыми условиями. Поскольку факторы жизни растений проявляются в условиях окружающей среды (прежде всего погодных явлений), которые могут сильно варьировать во времени и в пространстве, установление их количественных параметров (численных значений) является важной и трудоемкой задачей.

После того как необходимая информация собрана, ее следует оценить. При этом обычно используют статистические методы. С помощью этих методов можно описать явления, полученные в опыте. Например, «23 % обследованных посевов пшеницы засорены корнеотпрысковыми сорняками и 35 % подвержены азотному голоданию». Можно сделать прогнозы, которые несут вероятностный характер. Иными словами, статистический анализ полученных результатов дает возможность строить научные догадки (иногда это бывают очень удачные догадки) о вероятности того, что выявленный в ходе исследования набор фактов не случаен.

Для изучения зависимостей между несколькими переменными можно использовать, например, корреляционный анализ. Он помогает выяснить некоторые аспекты взаимодействия переменных, но не дает, строго говоря, возможности определить, что является причиной, а что следствием. Кроме того, очень часто возникают «ложные» корреляции.

Современный этап развития статистических методов начался в 1900 г., когда англичанин К. Пирсон основал журнал «*Biometrika*». В первой трети XX в. статистика, названная параметрической, активно развивалась. Основным ее объектом были выборки из распределений, описываемых одним или небольшим числом параметров («кривые семейства Пирсона»). Наиболее популярным оказалось нормальное (гауссово) распределение, или нормальный закон распределения. Нормальный закон распределения (закон Гаусса) занимает центральное место в теории вероятностей. Это обусловлено тем, что закон проявляется во всех случаях, когда случайная величина является результатом действия большого числа различных факторов и применяется в многочисленных приложениях теории вероятностей.

Для проверки гипотез использовали критерии Пирсона, Стьюдента, Фишера. Были предложены метод максимального правдо-

подобия, дисперсионный анализ, сформулированы основные идеи планирования эксперимента.

Известный специалист в области прикладной статистики А.И. Орлов [2004] считает, что нельзя указать каких-либо веских причин, по которым распределение результатов конкретных наблюдений должно входить в то или иное «параметрическое семейство Пирсона». «...Если допустить, что вероятностная модель предусматривает суммирование независимых случайных величин, то сумму можно описывать нормальным (гауссовым) распределением ...если же в модели рассматривается произведение таких величин, то итог описывается логарифмически нормальным распределением...». В то же время, подчеркивает А.И. Орлов, подобных моделей нет в подавляющем большинстве реальных ситуаций и приближение реального распределения с помощью «кривых из семейства Пирсона» или его подсемейств – чисто формальная операция. Именно из таких соображений критиковал параметрическую статистику С.Н. Бернштейн [1928] еще в 1927 г. в своем докладе на Всероссийском съезде математиков. Однако эта теория продолжает использоваться основной массой прикладников.

По поводу ограниченного применения критерия Стьюдента А.И. Орлов [2004] писал: «... описания экспериментальных данных показывают, что погрешности измерений в большинстве случаев имеют распределения, отличные от нормальных. Это означает, что большинство применений критерия Стьюдента ... строго говоря, не является обоснованным, поскольку неверна лежащая в их основе аксиома нормальности распределений соответствующих случайных величин. Очевидно, для оправдания или обоснованного изменения существующей практики анализа статистических данных требуется изучить свойства процедур анализа данных при «незаконном» применении...».

Критика методов параметрической статистики, применяемой в обработке экспериментальных данных, в том числе в агрономии, не является чем-то исключительным, присущим только специалистам по статистике. Эти вопросы обсуждал В.А. Семенов в своей работе «Полевой опыт в аграрной науке (новая концепция)», опубликованной в 2004 г. Он писал: «...Нужно радикально пересмотреть отношение к математизации нашей науки. Это диктуется и тем, что стандартные статистические процедуры, которые сейчас в широком ходу, не всегда, а точнее сказать, редко подходят

для обработки наших данных. Наши выборки информации, как правило, не имеют нормального распределения вероятностей – обязательное условие для использования обычных статистических расчетов, а независимость переменных – столь же обязательное условие построения множественных зависимостей, вообще исключена...».

Примерно об этом писал А.И. Южаков (*неопубликованная рукопись*), а именно, «... Главный недостаток применения регрессионного анализа (при бонитировке почв – *добавлено нами*) состоит в том, что измеряемые почвенные показатели, возникшие как результат почвообразовательного процесса, здесь используются в обратной задаче в качестве факторов, предикторов регрессионного анализа. Такая подмена факторов и результатов в системе увязки набора показателей почв и достигнутой на них продуктивности приводит к тому, что регрессионные оценки для некоторых показателей оказываются ошибочными. Например, высокое содержание гумуса характерно для почв с повышенной емкостью поглощения минеральной части ППК. Увеличение гумуса, в свою очередь, сопровождается повышением поглотительной емкости почв. Связи подобного рода в теории графов называются автоматами, параметры которых в рамках классического регрессионного анализа принципиально не определяются. Попытки средствами регрессионного анализа расчленить эту связь являются неизбежным источником нестабильности оценок, поскольку направлены поперек естественных биологических связей. Для идентификации изолированного действия предикторов в направлении малых осей эллипсоида рассеяния оказывается недостаточно информации. Это фундаментальный недостаток, который не может быть устранен никакими методическими ухищрениями в рамках регрессионной модели: свойства почвы – продуктивность...».

Приведем еще одну цитату В.В. Налимова [1995]: «...Какова должна быть математическая подготовленность нематематика, желающего использовать в своей работе вероятностно-статистические методы? Этот вопрос приобретает особую остроту в связи с тем, что широкое развитие вычислительной техники позволяет обращаться к программам и совсем не подготовленным пользователям. Опасность такого рода деятельности состоит в том, что прикладная математика все же всегда остается дедуктивной наукой. Модель нельзя получить непосредственно из экспериментальных

данных, не опираясь на предпосылки, привносимые исследователем. Скажем, нужно отчетливо понимать, что результаты кластер-анализа всегда несут в себе некоторую неопределенность – они зависят от метрики пространства, сконструированного исследователем (то есть выбора шкал, в которых представляются измерения). Или другой пример: нужно четко осознавать, что оценки коэффициентов регрессии в реальных задачах так называемого пассивного (то есть не планируемого) эксперимента всегда оказываются все же смещенными в силу того обстоятельства, что никогда нельзя включить в рассмотрение все независимые переменные, ответственные за изучаемое явление. Можно поставить задачу и шире – всегда ли адекватны изучаемой ситуации исходные положения фишеровской концепции математической статистики?...».

Авторы данной работы не ставят перед собой задачу описывать методы статистической (математической) обработки агрономических экспериментальных данных и их применение в каждом конкретном случае. Мы лишь ставим под сомнение правомерность «безудержного» использования методов параметрической (фишеровской) статистики, например, корреляционного и регрессионного анализов «к месту и не к месту», которыми «пестрят» научные отчеты, диссертации и публикации.

В статистике выделяют два класса данных – числовые и нечисловые. Числовые данные – это числа, векторы, функции. К ним относятся результаты измерений, наблюдений, испытаний, опытов, анализов. Количественные данные обычно описываются набором чисел (выборкой). Их можно складывать, умножать на коэффициенты. Поэтому в числовой статистике большие значения имеют разнообразные суммы. Математический аппарат анализа сумм случайных элементов выборки – это классические законы больших чисел и центральные предельные теоремы [Орлов, 2004].

Нечисловые данные – это категоризованные данные, векторы разнотипных признаков, бинарные отношения, множества, нечеткие множества и др. Их нельзя складывать и умножать на коэффициенты. Они являются элементами нечисловых математических пространств (множеств). Математический аппарат анализа нечисловых данных основан на использовании расстояний между элементами (а также мер близости, показателей различия) в таких пространствах. С помощью расстояний определяются эмпириче-

ские и теоретические средние, доказываются законы больших чисел, строятся непараметрические оценки плотности распределения вероятностей, решаются задачи диагностики и кластерного анализа и др.

Способы получения статистических данных и объемы выборок устанавливаются, исходя из постановок конкретной прикладной задачи на основе методов математической теории планирования эксперимента.

Кратко рассмотрим некоторые особенности математической статистики, применяемые в агрономических исследованиях. Результаты наблюдений x_1, x_2, \dots, x_n , где x_i – результат наблюдения i -й единицы выборки, или результаты наблюдений для нескольких выборок, обрабатывают с помощью методов прикладной статистики, соответствующих поставленной задаче. Используют, как правило, аналитические методы, т.е. методы, основанные на численных расчетах (объекты нечисловой природы при этом описывают с помощью чисел). В отдельных случаях применяют графические методы визуального анализа.

Цель статистической обработки экспериментальных данных – выдвижение гипотез о классе и структуре математической модели исследуемого явления, определение состава и объема дополнительных измерений, выбор возможных методов последующей статистической обработки и анализ выполнения основных предположений, лежащих в их основе. Для достижения этой цели необходимо решить некоторые частные задачи.

Например, провести анализ, выбраковку и восстановление аномальных или пропущенных измерений. Эта задача связана с тем, что исходная экспериментальная информация обычно неоднородна по качеству. В результаты прямых измерений экспериментальных данных иногда вкрадываются ошибки, вызванные разными причинами. К ним могут быть отнесены просчеты экспериментатора, например нарушения в агротехнике возделывания сельскохозяйственных растений, аномалии в работе измерительных приборов, сбои вычислительной техники и т.д. Без глубокого анализа качества данных, устранения или хотя бы существенного уменьшения влияния аномальных данных на результаты последующей обработки можно сделать ложные выводы.

Обязательным условием при выборе метода обработки данных является проверка числовых характеристик случайных величин на

нормальность распределения. Например, при использовании для обработки процедур классического регрессионного анализа в первую очередь необходимо дать ответ на вопрос: «Является ли закон распределения наблюдаемых величин гауссовским и некоррелированным?». Получаемые при решении этой задачи выводы о природе экспериментальных данных могут быть как общими (независимость измерений, их равноточность, характер погрешностей и др.), так и содержать детальную информацию о статистических свойствах данных (вид закона распределения, его параметры). Решение центральной задачи предварительной обработки не является чисто математическим, а требует также и содержательного анализа изучаемого процесса, схемы и методики проведения эксперимента.

Следующим этапом может быть выявление статистических связей и взаимовлияния различных измеряемых факторов и результирующих переменных. Решение этой задачи позволяет отобрать те переменные, которые оказывают наиболее сильное влияние на результирующий признак. Выделенные факторы используются для дальнейшей обработки, в частности методами регрессионного анализа. Анализ корреляционных связей делает возможным выдвижение гипотез о структуре взаимосвязи переменных и о структуре модели объекта исследований. Последнее верно для некоррелированных переменных, как было указано выше, и с нормальным (гауссовским) распределением.

В ходе предварительной обработки решают и другие задачи, имеющие частный характер: отображение, преобразование и унификацию типа наблюдений, визуализацию многомерных данных и др. Для предварительной обработки, оказывающей первостепенное влияние на качество решения конечных задач исследования, характерны итерации, когда повторно возвращаются к решению той или иной задачи после получения результатов на последующем этапе обработки.

Количество разработанных к настоящему времени методов обработки данных весьма велико. Они описаны в десятках тысяч книг и статей, а также в стандартах и других нормативно-технических и инструктивно-методических документах. Доступна такая информация и в Интернет. Например, *SSGR* () – одна из наиболее полных коллекций ссылок по статистическим и графическим ресурсам. Коллекция создана канадской службой статистических консультаций и факультетом психологии York University [Торонто,

Канада). Наиболее полно представлены ссылки на многообразные статистические пакеты, которые можно скопировать бесплатно (<http://www.math.yorku.ca/SCS/StatResource.html>).

В связи с изложенным выше хотелось бы обратить внимание исследователей-прикладников к возможностям нечеткой логики, поскольку ее методы, по нашему мнению, наиболее перспективны для использования в формализации агрономических задач.

Как известно, классическая логика (двузначная логика, логика Аристотеля) оперирует только двумя понятиями: «истина» и «ложь», исключая любые промежуточные значения. Аналогично этому булева логика (алгебра) не признает ничего кроме единиц и нулей. Все это хорошо для вычислительных машин, но окружающий мир и наши проявления в нем гораздо сложнее. Представьте весь окружающий мир только в черном и белом цвете, вдобавок исключив из языка любые ответы на вопросы, кроме «да» и «нет». Получается довольно неприглядная картина. Решить эту проблему и призвана нечеткая логика.

В агрономических исследованиях велика возможность получить «случайный факт», который «по правилам» опытного дела необходимо отбрасывать как артефакт (да и сами экспериментальные данные любого рода по определению являются случайными величинами). В свою очередь, случайность всегда связана с неопределенностью, касающейся принадлежности объекта к некоторому множеству. Понятие же нечеткости относится к классам, в которых имеются различные градации степени принадлежности, промежуточные между полной принадлежностью и не принадлежностью объектов к данному классу. Или иначе – нечеткое множество есть класс объектов, в котором нет резкой границы между теми объектами, которые входят в этот класс, и теми, которые в него не входят [Дилигенский и др., 2004; Пегат, 2009].

Понятие нечёткой логики (нечеткие множества) введено Заде в 1965 г. [1965]. Понятие множества им было расширено допущением, что функция принадлежности объекта к множеству может принимать любые значения от 0 до 1, а не только 0 или 1 как в классической логике. Такие множества были названы нечёткими.

В настоящее время исследования по теории нечетких множеств и ее приложениям сосредоточены на следующих направлениях: получение и обработка интеллектуальных знаний; развивающиеся системы; нейронные сети; математическое моделирование нечетких

систем; принятие решений в нечеткой среде; нечеткая оптимизация; мягкие вычисления в экономике и общественных науках; использование мягких вычислений в интеллектуальной классификации.

Также Л. Заде предложены различные логические операции над нечёткими множествами и понятие «лингвистической переменной»*, которая описывается нечёткими множеством.

Областью применения нечеткой логики стали различные экспертные системы, например нелинейный контроль за процессами в производстве; самообучающиеся системы (классификаторы или нейронные сети); исследование рискованных и критических ситуаций; распознавание образов; совершенствование стратегий управления и координации действий в любом сложном производстве, в том числе в сельском хозяйстве.

*С термином «лингвистическая переменная» можно связать любую величину, для которой нужно иметь больше значений, чем только «да» и «нет». В этом случае определяется необходимое число термов и каждому из них ставится в соответствие некоторое значение описываемой физической величины. Для этого значения степень принадлежности физической величины к терму будет равна единице, а для всех остальных значений – в зависимости от выбранной функции принадлежности.

Лингвистическая переменная может принимать значения естественного или искусственного языка. Описывается набором следующих символов $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$, где β – имя лингвистической переменной; T – множество его значений (терм-множество), представляющие имена нечетких переменных, областью определения, которых является множество X . Множество T называется базовым терм-множеством лингвистической переменной; G – синтаксическая процедура, позволяющая оперировать элементами терм-множества T , в частности, генерировать новые термы (значения). Множество $T \cap G(T)$, где $G(T)$ – множество сгенерированных термов, называется расширенным терм-множеством лингвистической переменной; M – семантическая процедура, позволяющая преобразовать новое значение лингвистической переменной, образованной процедурой G , в нечеткую переменную, т.е. сформировать соответствующее нечеткое множество.

Например, пусть оценка содержания минерального азота в почве описывается с помощью понятий «очень низкая», «низкая», «средняя» и «высокая» (по шкале А.Е. Кочергина), при этом минимальная единица содержания равняется ≤ 5 мг/кг почвы, максимальная – ≥ 15 мг/кг почвы.

Формализация этого описания может быть проведена с помощью лингвистической переменной $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$, где β – содержание; T – {«очень низкая», «низкая», «средняя» и «высокая»}; X – [5, 15]; G – процедура образования новых термов с помощью связок «и», «или» и модификаторов типа «не», «очень», «слегка» и др. Например, «очень низкое или среднее», «не выше среднего» и др.; M – процедура задания на $X = [5, 15]$ нечетких подмножеств $A_1 =$ «низкое содержание», $A_2 =$ «среднее содержание», $A_3 =$ «высокое содержание», а также нечетких множеств для термов из $G(T)$ соответственно правилам трансляции нечетких связок и модификаторов «и», «или», «не», «очень», «слегка».

2.2. Базы данных

База данных – это организованная структура, предназначенная для хранения данных. В современных базах данных хранятся не только данные, но и информация [Кузнецов, 2016].

База данных ГИС должна быть [Геоинформатика, 2008]:

- согласованной по времени – хранящиеся в ней количественные данные должны соответствовать определенному времени, быть актуальными;

- полной и достаточно подробной, т.е. должна включать все необходимые сведения для осуществления анализа или математико-картографического моделирования исследуемого объекта или явления;

- позиционно точной, абсолютно совместимой с другими данными, которые могут добавляться в нее;

- достоверной, правильно отражающей характер явлений;

- легко обновляемой;

- доступной для пользователей.

В ГИС, предназначенных для решения агрономических задач, в основном используют реляционную модель (базу) данных.

Понятие реляционный (англ. relation – отношение) связано с разработками известного американского специалиста в области систем баз данных Е. Кодда. В реляционной базе данных информация хранится как упорядоченные записи или строки значений атрибутов. Атрибуты объектов группируются в отдельных строках в виде отношений, поскольку они сохраняют свои положения в каждой строке и определенно связаны друг с другом. Каждая колонка содержит значения одного атрибута для всего набора объектов. Атрибуты объектов могут также объединяться в другие связанные таблицы [Ульман, 1983; Дейт, 2006].

Реляционные системы основаны на наборе математических принципов, называемых реляционной алгеброй или алгеброй отношений, устанавливающей правила проектирования и функционирования таких систем. Поскольку реляционная алгебра основывается на теории множеств, каждая таблица отношений функционирует как множество, и первое правило гласит, что таблица не может иметь строку, которая полностью совпадает с какой-либо другой строкой. Поскольку каждая из строк уникальна, одна или несколько колонок могут использоваться для определения крите-

рия поиска. Такой критерий поиска называется первичным ключом (primary key) для поиска значений в других колонках базы данных. Всякая строка таблицы должна иметь уникальное значение в колонке первичного ключа, в противном случае невозможно однозначно идентифицировать объекты по первичному ключу ([Токмаков, 2010]; <http://gis-tech.ru/organizaciyabase.html>).

Реляционные системы позволяют собирать данные в достаточно простые таблицы, при этом задачи организации данных также просты. Каждая реляционная таблица представляет собой двумерный массив и обладает следующими свойствами:

- каждый элемент таблицы – один элемент данных, повторяющиеся группы отсутствуют;
- все столбцы в таблице однородные, т.е. все элементы в столбце имеют одинаковый тип (числовой, символьный и т.д.) и длину;
- каждый столбец имеет уникальное имя;
- одинаковые строки в таблице отсутствуют;
- порядок следования строк и столбцов может быть произвольным.

Таблица соответствует отношению, строки – кортежам или записям, столбцы – атрибутам отношений, доменам, полям.

При необходимости можно стыковать строки из одной таблицы с соответствующими строками из другой, используя связующий механизм, называемый реляционным соединением (relational join). Таблицы в ГИС, как правило, соединены между собой определенным образом по равенству значений колонки первичного ключа одной таблицы с другой колонкой второй таблицы. Колонка второй таблицы, с которой связан первичный ключ, называется внешним ключом (foreign key). Значения связанных строк предполагаются находящимися в тех же позициях для гарантии соответствия. Эта связь означает, что все колонки второй таблицы привязаны к колонкам первой. Благодаря этому каждая таблица может быть наиболее простой, облегчая управление данными. Можно привязать и третью таблицу, взяв колонку второй таблицы, которая будет использоваться как первичный ключ к соответствующей ключевой колонке (теперь называемой внешним ключом) третьей таблицы. Процесс может продолжаться присоединением все новых простых таблиц для проведения довольно сложного поиска, причем набор таблиц остается простым и легко поддерживаемым.

Этот подход устраняет путаницу, присущую разработке баз данных с использованием сетевых систем [Кузнецов, 2016].

Чтобы устанавливать реляционные соединения, каждая таблица должна иметь хотя бы одну общую колонку с другой таблицей, с которой необходимо установить такое соединение. Эта избыточность как раз и обеспечивает реляционное соединение. Однако по возможности избыточность следует уменьшать. Для определения вида, который таблицы должны иметь, установлен набор правил, называемых нормальными формами (normal forms).

Для ввода, хранения, манипулирования и вывода атрибутивной (непространственной) информации в ГИС можно использовать стандартные системы управления базами данных (СУБД). При этом в число атрибутов в этом случае не включаются геометрические свойства, описывающие топологические характеристики географических объектов. Последние упорядочиваются и организуются с использованием особых свойств ГИС. Необходимая связь между геометрическим описанием объектов и их содержательными атрибутами устанавливается через идентификаторы – уникальные номера (коды) географических объектов. Атрибутивную базу данных можно создать автономно в любой доступной СУБД (например, в Microsoft Access или Microsoft SQL Server), а затем с помощью заполнения идентификационных полей атрибутивной таблицы кодами объектов и программных средств обмена данными связать ее с уже созданной географической базой данных [Кравченко, 2008, 2008а, 2012].

В геореляционной модели пространственной базы данных геометрия и топология географических объектов хранятся в файлах, атрибуты – в системе управления базами данных [Ананьев, 2003; Гурьянова, 2008; Лурье, 2010]. Связь между файлами и базой данных устанавливается и управляется при помощи ГИС. Геореляционная модель данных используется многие годы благодаря своей гибкости, расширяемости и хорошей производительности [Серов, 2008]. Однако по мнению И.К. Лурье и Т.Е. Самсонова [2010], в стандартных геореляционных базах данных ГИС использование множественных представлений неэкономно и избежать этого пока не удастся, так как соответствующие программные методы перехода между ними еще недостаточно разработаны.

Суть проблемы заключается в том, что в таблицах атрибутивных данных ГИС, например «земельный участок», не хранятся

сведения о геометрии участка. Для этого в соответствии с реляционным подходом следовало бы создать ряд вспомогательных таблиц и хранить в них необходимую информацию о полигонах, составляющих земельные участки. Однако скорость работы даже самых лучших в мире СУБД не позволит оперативно использовать геометрические данные, представленные в таком виде. Для соединения атрибутов пространственных данных с таблицами внешних баз данных в ГИС применяется специальная операция. После операции соединения возможно выполнение операций различных информационных запросов над соединённой таблицей. Например, среди земельных участков можно найти все те, которые располагаются на склонах, и они будут выделены на карте в ГИС [Скворцов, 2006].

В литературе часто встречается представление о том, что в ГИС существуют два типа данных. В одной группе файлов данные содержатся в виде простых записей с пространственной информацией (координаты x и y), топологией и уникальным идентификатором для связи с табличными записями, хранящимися в другой группе файлов. Первая группа файлов часто называется файлами пространственных данных, вторая хранит атрибуты пространственных данных в форме таблиц, состоящих из строк и столбцов. В геореляционной модели данных ГИС реализуется принцип содержания в одном тематическом слое как пространственной (положение географических объектов), так и атрибутивной (описательной, семантической) информации о географических объектах [Лайкин, Упоров, 2010]. Примерами векторных геореляционных моделей, применяемых в ГИС, являются шейп-файлы (*shapefiles*), используемые в продуктах компании ESRI Inc. или обменный формат MIF/MID компании MapInfo.

Некоторые авторы представляют базу данных ГИС в виде взаимосвязанной тройки: $O = \{id, pos, att\}$. Тем самым подчеркивается, что объекты (O) имеют пространственную (pos) и атрибутивную (att) составляющие, что является главной отличительной чертой ГИС. Эти две составляющие при использовании геореляционной модели базы данных связываются через идентификатор id [Королев, 1998; Баденко и др., 2011].

В некоторых ГИС, например ArcGIS 9, наряду с геореляционной моделью используется объект-ориентированная модель данных. В объект-ориентированной модели применяются функции,

которые моделируют пространственную и непространственную связь географических объектов и атрибутов. В основе данного цифрового представления географической действительности лежит геообъект, который характеризуется атрибутами, положением и правилами и обладает не только свойственными ему характеристиками, но и «поведением». «Поведение» геообъекта может быть реализовано в ГИС через определенную последовательность операций, характерных для данного геообъекта [Леменкова, 2016]. Геообъекты могут принадлежать к соответствующим классам. Классы могут иметь собственные переменные и принадлежать супер-классам (<http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/>).

В настоящее время в профессиональной ГИС ArcGIS компании ESRI (ArcGis 10.4.1; ArcGis 10.5) используется новая модель организации информации – база геоданных, которая имеет ряд преимуществ (<https://www.esri-cis.ru/arcgis/>). Вся цифровая карта, включая легенду, описания систем координат, взаимосвязи слоев и другая информация, помещаются в одном файле базы геоданных Microsoft Access или на сервере, который реализует идею единого хранилища [Андреанов, 2006]. Серверный вариант поддерживает также возможность многопользовательского доступа и редактирования геоданных. Продукты ArcGIS могут работать с данными нескольких серверов сразу, причем в одной карте можно объединять данные из разных источников – различных серверов, собственных (локальных) баз геоданных, а также из файлов на локальном диске. Это позволяет строить не только централизованную систему, но и распределенную.

Развитие ГИС в решении вопросов производительности, скорости получения ответов и решений, экономного расходования ресурсов ЭВМ и эффективности всей ГИС осуществляется довольно быстрыми темпами. В связи с этим выбор программного обеспечения инструментальной ГИС для приложений в предметной области очень разнообразен и зависит от поставленных задач и финансовых возможностей пользователя.

База данных агрономических ГИС. Концепция послойной организации данных в ГИС требует, чтобы каждый векторный слой определялся как точечный, линейный или полигональный в дополнении к его тематической направленности. Отдельный слой агрономических ГИС может включать один тип объектов (точечных, линейных или полигональных) или группу взаимосвязанных.

Так, слой может включать полигональные объекты, представляющие только почвенные контуры, контуры рабочих участков землепользования и т.д. В другом случае на слое «природные зоны» могут отражаться сразу несколько типов взаимосвязанных объектов – границы природных зон, пункты метеорологических постов, изолинии коэффициентов увлажнения и т.д.

Структура агрономической ГИС – количество информационных слоев и содержание баз данных определяются задачами предметного анализа территории. Такой анализ направлен на оценку территории по наиболее значимым природным условиям, влияющим на производство растениеводческой продукции. К ним можно отнести рельеф, климат, почвенный покров, растительность, гидрологию и др.

В основу региональной агрономической ГИС (РАГИС) могут быть положены электронные карты в базовом масштабе 1 : 100 000, включающие серию взаимосвязанных тематических слоев:

- административное деление территории;
- топография (дорожная сеть, населенные пункты и др.);
- геоморфологическое строение с описанием рельефа земной поверхности и почвообразующих пород;
- гидрологические условия;
- почвенный покров территории;
- типизированные структуры почвенного покрова;
- климатические условия территории;
- агроклиматические ресурсы;
- растительность;
- природно-сельскохозяйственное районирование;
- агроэкологические группы земель;
- потенциальная урожайность культур и др.

Перечисленные слои в структуре РАГИС можно разделить на три типа: базовые, тематические и производные (рис. 4).

Базовым слоем при формировании РАГИС служит топографическая цифровая карта. Её использование в качестве основы создания РАГИС обусловлено следующими причинами. Цифровая топографическая карта содержит информацию о пространственном расположении географических объектов (озера, реки, населенные пункты и т.д.), административных границ, а также информацию о рельефе местности в виде горизонталей и отметок высот.

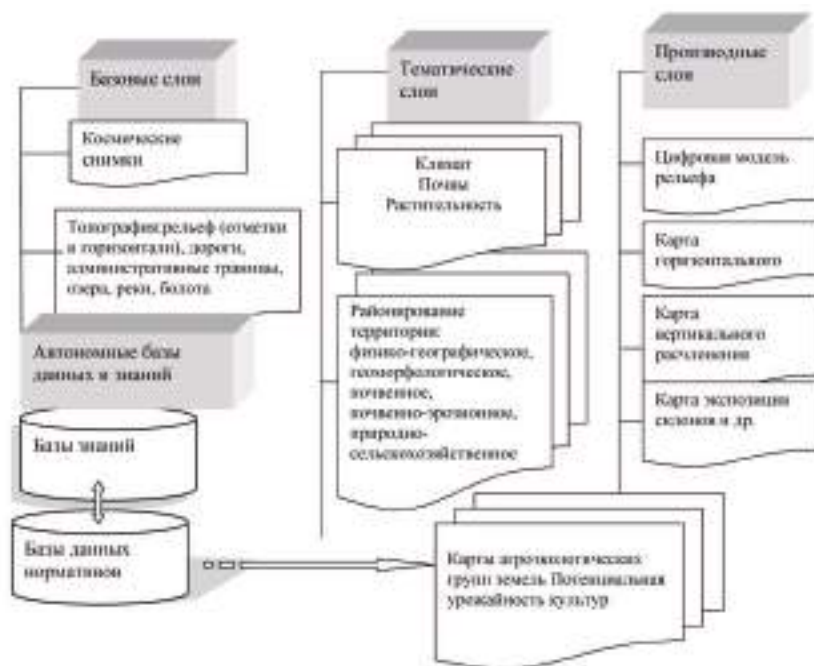


Рис. 4. Примерная структура РАГИС

В процессе агроэкологической оценки земель используются различные источники. При этом возникает необходимость их согласования. Согласование информационных слоев в ГИС предусматривает взаимную увязку отдельных элементов географической основы, однородных элементов тематического содержания друг с другом, тематических слоев между собой и т.д. С этой проблемой неразрывно связан выбор географической основы и базовой карты, которые послужат в дальнейшем каркасом для пространственной привязки всех данных, поступающих в ГИС и их анализа. Согласованность картографических материалов достигается путем использования определенной картографической проекции, заданной для цифровой топографической карты. В масштабе топографической карты 1 : 100 000, например, достаточно детально отражаются особенности формирования

агроландшафтов и их компонентов. Карты более мелких масштабов ограничивают возможности агроэкологической оценки территории.

Блок тематических слоев включает карты разной направленности, которые можно разделить на две группы. К первой группе отнесены слои, описывающие природные факторы, влияющие на формирование ландшафта (рельеф, литология, климат, почвы). Ко второй группе отнесены слои, несущие информацию о природном районировании территории. Данная группа включает карты физико-географического районирования и ряда карт тематического районирования – геоморфологического, почвенного, почвенно-эрозионного, природно-сельскохозяйственного.

Производные тематические слои разрабатываются с целью выявления дополнительных характеристик об изучаемой территории. Они формируются на основе существующих базовых и тематических слоев. Например, карта вертикального расчленения рельефа необходима для изучения морфометрических особенностей рельефа местности, для изучения степени расчленения территории по глубинам местных базисов эрозии. Эта карта создается с учетом информации о рельефе местности, отображаемой на топооснове. По существу она относится к производной тематической карте, являющейся объектом цифрового моделирования рельефа.

В структуре РАГИС каждый слой состоит из цифровой карты и связанных с ней атрибутивными базами данных. Отдельное место в структуре РАГИС занимают так называемые автономные базы данных и базы знаний, которые необходимы для разработки карт агроэкологических групп земель. Атрибутивное содержание базы данных определяется нормативами агроэкологической группировки (классификации) земель сельскохозяйственного назначения.

Агрономическая ГИС для внутривозрастной агроэкологической оценки земель, по мнению В.И. Кирюшина с соавторами [2013], может состоять из серии электронных карт с соответствующими атрибутивными базами данных:

- карта форм и элементов рельефа (отражает структуру ландшафтов и почвенно-ландшафтные связи);
- картограмма крутизны склонов (используется для оценки потенциального стока и эрозионной опасности);

- картограмма LS-фактора (интегральный показатель длины и крутизны склонов);
- картограмма экспозиций склонов (предназначена для оценки теплообеспеченности и влагообеспеченности растений);
- карта форм склонов (используется для оценки эрозионной опасности);
- картограмма индекса влажности Idw (определяет скорость транзита стока);
- карта микроструктур почвенного покрова (отображает элементарные почвенные ареалы и микрокомбинации, связанные с микрорельефом);
- карта почвообразующих и подстилающих пород (составляется для условий значительного разнообразия почвообразующих пород и близкого к поверхности расположения подстилающих пород);
- карта гранулометрического состава почв (необходима при подборе культур, а также при выборе системы обработки почвы);
- карта солонцеватости почв (отображает комплексы почв с различным участием солонцов, а также сочетания и вариации несолонцеватых почв и почв различной степени солонцеватости);
- карта засоленности почв (используется для подбора культур и для дифференциации агротехнологий);
- карта гидрогеологического режима почв (используется для подбора культур, выбора севооборотов, агротехнологий и при необходимости осушительных мелиораций);
- карта потенциальной уплотняемости почв (показывает почвы, склонные к повышенному уплотнению);
- карта фактического подпахотного уплотнения почв (показывает почвы, имеющие плужную подошву);
- карты содержания гумуса, кислотности, содержания подвижных фосфора и калия (используются для расчета доз мелиорантов и удобрений).

Путем взаимного наложения перечисленных электронных карт-слоев получают электронную карту агроэкологических групп и видов земель. Исходной позицией агрогеоинформационной системы (АгроГИС) является цифровая модель рельефа, на основе которой создается набор карт. Результаты почвенно-ландшафтного картографирования и агроэкологической оценки земель выра-

жаются в виде АгроГИС, создаваемой, например, в формате «ГИС Карта 2011».

Почвенная база данных. При формировании базы данных почв все многообразие почвенных показателей необходимо представить с помощью методов их формализованного описания. При этом главной проблемой является установление оптимальной структуры данных, при которой база данных отвечала бы требованиям целостности, отсутствия дублирования информации, простоте в обновлении данных и др. Решение данной проблемы является сложной задачей и ее можно частично оптимизировать с помощью СУБД.

При определении структуры данных использованы понятия, присущие реляционным базам данных: класс объектов, домен, свойство (атрибут) и связь. Почвенная база данных разрабатывается с целью систематизации сведений о характеристике почв. В качестве класса объектов приняты почвы, описываемые на уровне классификационного положения «подтип почвы».

Все пространство почвенных показателей можно рассматривать как конечное множество атрибутов для принятого класса объектов. В свою очередь, каждый почвенный показатель описывается в виде совокупности данных, например, наименование показателя, единица измерения, метод определения и т.д., образующих конечное подмножество данных. Для упорядочения информации в базе данных и определения функциональных связей между атрибутами использованы домены.

Домен при формировании почвенной базы данных выступает как допустимое потенциальное, ограниченное подмножество значений для почвенного показателя, а также интегрального показателя (балл бонитета, почвенно-экологический индекс). Таким образом, метаданные определены через домены: 1) включающий наименование показателей; 2) содержащий методы определения показателей; 3) включающий описание почвенных показателей; 4) включающий описание коэффициентов для вычисления баллов бонитета почв; 5) включающий описание коэффициентов для вычисления почвенно-экологического индекса. Таблицы содержат метаописание почвенных показателей (Characteristics), метаописание методов определения показателей (Method), метаописание значений почвенных показателей (Value), метаописание для баллов бонитета почв (Bonitet).

В соответствии с этим для каждого элемента множества почвенных показателей в пределах соответствующей таблицы базы данных соответствует кортеж таблицы, включающий полное метаописание данного элемента.

Почвенная база данных состоит из нескольких взаимосвязанных отношений (или таблиц БД). Для каждого отношения заданы имена атрибутов $A_i \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, где A_i – допустимое множество значений, которое принимает атрибут ($i = 1, 2, \dots, n$). В свою очередь, совокупное множество значений атрибута связывают с доменом D_i ($i = 1, 2, \dots, n$) (n – арность отношения), множество значений которого должно быть непустым и конечным:

$$D = D_1 \cup D_2 \cup D_3 \cup \dots \cup D_n.$$

В соответствии с этим конечное множество имен атрибутов $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ образует схему отношения $R \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, в которой атрибут A_i принимает значение из заданного множества D_i .

Отношению r со схемой R соответствует множество отображений $\{t_1, t_2, \dots, t_p\}$ из множества $R \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ в множество $D = \{D_1 \cup D_2 \cup D_3 \cup \dots \cup D_n\}$, для которого выполняется условие

$$t_k(A_i) \in D_i,$$

где t_k – отображение; k – кортеж отношения, $k = 1, 2, \dots, p$; n – размерность кортежа.

При этом k -му кортежу соответствует множество значений, стоящих в k -й строке таблицы, а понятию отношения r соответствует множество значений во всех строках таблицы.

Для каждого отношения определены следующие условия: отношение имеет уникальное имя в пределах базы данных, для каждого отношения применимы реляционные теоретико-множественные операторы f , определяемые как функции с отношениями в качестве аргументов

$$R = f(R_1, R_2, R_3, \dots, R_k),$$

где R – схема отношения.

R выступает определенной схемой отношения, в которой взаимосвязи между атрибутами задаются с помощью функциональных зависимостей.

Создается цифровая почвенная карта, на которой основным типом пространственных данных выступают ареалы подтипов почв.

К созданной почвенной карте привязывается семантическая составляющая базы данных через уникальный идентификатор (PochID). Особенностью пространственно-координированной почвенной базы данных является включение не только атрибутивной части, описывающих семантику почвенных объектов, но и наличие позиционной составляющей. Позиционная информация, заключенная в базе данных, описывает положение почвенных контуров на карте в соответствии с принятой системой координат. Работа с базой данных осуществляется посредством языка структурированных запросов SQL. С помощью SQL-запросов определяются геометрические характеристики почвенных контуров (площадь, периметр, извилистость границ и др.).

Целостность базы данных достигается путем установления ограничения специального вида, которые должны выполняться для отношений (целостность сущностей и внешних ключей). Манипулирование данными в базе данных реализуется посредством применения математического аппарата реляционной алгебры и реляционных исчислений. Это позволяет предотвратить появление избыточных данных, осуществлять связь между метаданными и пространственно-координированной БД ГИС.

Почвенную базу данных можно создать с помощью одной из СУБД, например Microsoft Access. Эта функционально полная реляционная СУБД содержит необходимый комплекс программных и языковых средств для создания и обработки базы данных и поддержания их в актуальном состоянии.

В частности, для имитационного моделирования продукционного процесса агроэкосистем, по мнению Л.А. Хворовой и др. [2013], должна создаваться база данных реляционного типа, которую авторы назвали стационарной базой данных (СБД). В зависимости от способа получения вся информация, входящая в СБД, разбивается на классы:

- совокупность физических констант и литературных данных по почвам, растениям и приземному воздуху – нормативные данные (НБД);
- экспериментальная информация, получаемая в результате полевых измерений, – экспериментальные данные (ЭБД) или база данных полевого опыта;
- параметры моделей, полученные в результате решения задач идентификации, – модельные данные (МБД).

Нормативная и экспериментальная информация представляется в СБД в виде иерархически организованной совокупности данных. Первый уровень иерархии данных образуют группы наиболее статичной информации, метаданные. Подчиненными по отношению к ним могут быть условно постоянные показатели, например почвенные характеристики. Наконец, третий уровень иерархической организации составляют таблицы оперативных показателей производственного процесса.

При создании автоматизированного рабочего места (АРМ) агронома-землеустроителя на основе ГИС коллективом ученых, в котором участвовали авторы, например, было принято решение о том, что совокупность БД должна содержать информацию о природных и производственных ресурсах объектов землепользования, а также специализированные базы данных и этого будет достаточно для решения поставленных задач [Власенко и др., 2005]:

- БД «Агроэкологические требования сельскохозяйственных культур к условиям произрастания»;
- БД «Предшественники в севообороте» со справочными данными по урожайности культур в виде поправочных коэффициентов и др.;
- БД «Ресурсосберегающие технологии выращивания сельскохозяйственных культур» с учетом трех уровней интенсификации производства, содержащая регистр агротехнических приемов выращивания основных культур;
- БД «Нормативы затрат», включающая данные по стоимости основных технологических операций и оплате труда.

2.3. Базы знаний и экспертные системы

Состоявшаяся в свое время дискуссия о том, чем данные отличаются от знаний, остановилась на мнении, что «знания, это данные и их интерпретация», т.е. знания – это еще и метазнания. Определения понятия «знания» в информатике можно продолжить следующим. «Знания – это выявленные тенденции или существенные связи между фактами и явлениями, представленные в информации» [Тузовский и др., 2005]. «Знания – это хорошо структурированные данные или данные о данных, или метаданные» [Андрейчиков, Андрейчикова, 2006].

Знания также можно определить как набор моделей, которые используются для интерпретации, прогнозирования и управления. Они представляют собой совокупность декларативных (факты) и процедурных (методы) утверждений. Знания имеют разные уровни:

- факты, которые можно констатировать, приводить в виде таблиц, перечней, диаграмм, иллюстраций и графиков (низший уровень);
- понятия, обобщения (промежуточный уровень);
- правила, которые вырабатываются путем анализа фактов и понятий (высший уровень).

Правила представляют знания в виде набора операций (операторов) или алгоритмов типа «если, то» и используются при разработке стратегии решения задач.

Высшим уровнем знаний являются правила высокого порядка и эвристическое решение задач. Эвристические знания основаны на создании правил и их применении в нестандартных ситуациях, что дает возможность выхода за пределы знаний, основанных на правилах и алгоритмах. Это синтез новых фактов и понятий на основе ранее изученных правил. Факты из какой-либо предметной области могут быть взяты из банка фактов. Наборы фактов могут объединяться в понятия. Понятия получают определения, «очищаются» и преобразуются в правила. Затем факты, понятия и правила синтезируются, их границы расширяются с целью создания эвристических знаний (sites.google.com/site/upravlenieznaniami/inzeneriaznanij/bazy-znanij).

Эвристические знания уникальны для каждого человека. Они основываются на индивидуальных «эмпирических» правилах или «систематических догадках». В то время как для решения стандартных и четко определенных задач применяются алгоритмы, эвристические правила относятся к задачам, возможные исходы и решения которых не определены. Эвристические знания основаны большей частью на методах и правилах открытий и инноваций.

Знания подразумевают изучение, осведомленность и компетентность в различных вопросах, которые представлены в ментальных моделях (интеллектуальные модели). Знания о каком-либо предмете могут быть разделены на две группы: декларативные и процедурные. Декларативные знания – это описательное представление в какой-либо предметной области. Они представляют собой поверхностные знания о том, какой это предмет, как он вы-

глядит и что означает. Процедурные знания являются набором интеллектуальных способностей, направленных на знание того, «как» сделать что-либо. Процедурные знания являются предписывающими: они используются для определения образа действий [Экспертные системы..., 1987; Болотова, 2012; Борисов, 2014].

Факты и понятия по большей части относятся к декларативным знаниям. Правила и алгоритмы являются примерами процедурных знаний. Наличие процедуры выполнения какого-либо действия не обязательно означает наличие навыков, необходимых для осуществления задачи.

Используются следующие модели представления знаний: алгоритмическая, логическая или формально-логическая, семантическая или сетевая, фреймовая, продукционная, гибридная (МПЗ [Минский, 1979; Кузнецов, 1986; Уотермен, 1989; Уэно, Исидзука, 1989; Морозов, 2002; Карась, 2010; Корухова, 2012; Авдеенко, Бакаев, 2013]).

Алгоритмическая МПЗ. В процессе формализации знаний часто используются алголоподобные языки. Формальная система задает описание решения задачи в виде программы вычисления. В основе формальной системы лежат: алфавит используемого языка, правила формирования выражений из элементов алфавита, аксиомы и правила вывода (http://technologies.su/informacionnyi_process_predstavleniya_znani).

Алфавит определяется множеством

$$T = T_1 \cup T_2 \cup T_3,$$

где $T_1 = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ – имена подзадач. Последовательность A представляет собой описание исходной задачи; $T_2 = \{\text{case, of, while, do}\}$ – включает слова, позволяющие строить синтаксические конструкции описания последовательности решения (например, $\text{case } A \text{ of } A_1, A_2, \dots, A_n$ – означает, что описание исходной задачи A , для решения которой достаточно решить одну подзадачу); $T_3 = \{\text{begin, end}\}$ – вспомогательные значения.

Алгоритмическая модель также может отображаться графом редукции, где в корневой вершине находится исходная решаемая задача, в промежуточных вершинах – подзадачи, в конечных – элементарные подзадачи. Дуги отображают операции программирования типа «соглашение».

Логическая или формально-логическая МПЗ. Знания, необходимые для решения, и сама решаемая задача описываются опреде-

ленными утверждениями на логическом языке. Знания составляют множество аксиом, решаемая задача представляет собой теорему, требующую доказательства. Процесс доказательства теоремы составляет логическую модель представления знаний. Модель может быть описана следующим образом:

$$M = \langle T, P, A, F \rangle,$$

где T – множество базовых элементов, P – множество правил, A – множество истинных выражений (аксиом), F – правило вывода.

Базовые элементы T представляют собой

$$T = T_1 \cup T_2 \cup T_3 \cup T_4 \cup T_5,$$

где T_1 – имена задач и подзадач $\{I_1, I_2, \dots\}$; T_2 – определяет структуру их взаимосвязи $\{\& \cup\}$; T_3 – символы сведения задач к подзадачам $\{\rightarrow\}$; T_4 – вспомогательные символы $\{(,)\}$; T_5 – символы истинности и ложности результатов решения $\{t, f\}$.

На основе символов алфавита строятся формулы логической модели, т.е. множество правил P . Поиск решения задачи на основе логической модели представления знаний базируется на использовании ряда аксиом. Всего для построения логической модели используется 10 аксиом.

Логической модели соответствуют графические отображения в виде графа редукции и графа пространственных состояний. Для графа редукции вершины представляют собой имена подзадач, дуги обозначают связи между ними. Граф строится сверху вниз, в его концевых вершинах располагаются элементарные подзадачи, решаемые с помощью ЭВМ. Поиск решения исходной задачи отображается последовательностью обхода вершин графа.

В графе пространства состояний вершинами являются процессы решения элементарных подзадач. На данном графе должен быть указан путь из корневой вершины в одну из концевых, т.е. задается последовательность обхода вершин.

Семантическая или сетевая МПЗ. Семантическая сеть – это ориентированный граф, вершины которого представляют понятия. Основными видами семантических отношений являются лингвистические, теоретико-множественные, логические и квантифицированные. Семантические сети можно классифицировать по количеству типов отношений (однородные, неоднородные) и по типам отношений (бинарные, N-арные). Они обеспечивают на-

глядность отображения объектов, связей и отношений, а также гибкость представления знаний за счет ассоциативности и иерархичности.

Обычно используемая для моделирования знаний семантическая сеть состоит из двух множеств: узлов и соединяющих узлы ребер, которые отражают бинарные отношения между ними [Кузнецов, 1986].

Эта модель позволяет оперировать понятиями, выраженными на естественном языке. Примером реализации такой модели служат экспертные системы. Для построения модели используют аппарат семантических сетей, представленных в виде графа

$$G = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n; \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\},$$

где Y – узлы (вершины) графа. Они отображают некоторые сущности – объекты, события, процессы, явления и т.д.; β – дуги графа, которые обозначают отношения между сущностями, заданные на множестве вершин.

Вершины отображают сущности разной степени общности. Их упорядочение происходит по видам отношений.

Предметная область отображается как совокупность сущностей и отношения между ними. Если адекватно сформулированы фундаментальные понятия отношений и объектов предметной области (имеются всеобъемлющие концептуальные знания), то семантическая модель работает достаточно успешно.

Фреймовая МПЗ. Фрейм (англ. frame – рамка, каркас) – структура, дающая целостное представление об объектах, явлениях и их типах в виде абстрактных образов для представления стереотипа восприятия.

Структура фрейма представляется в виде

$$N : \{ \langle S_1, V_1, P_1 \rangle, \dots, \langle S_k, V_k, P_k \rangle, \dots, \langle S_n, V_n, P_n \rangle \},$$

где N – имя фрейма; $\langle S_k, V_k, P_k \rangle$ ($k=1, \dots, n$) – слот; S_k – имя слота; V_k – значение слота; P_k – процедура.

Слоты – это структурные элементы фрейма, заполнение которых приводит к тому, что фрейм ставится в соответствие некоторой ситуации, явлению, объекту или процессу. Заполнение слотов происходит по мере получения знаний о предметной области.

Имена фреймов и слотов обеспечивают интерпретируемость хранящихся во фреймах значений. Фреймы имеют свойство вло-

женности, так как значениями слота могут быть имена слотов более глубокого уровня. Значениями слотов могут быть приказы вызова процедур для активизации программ на основе имеющихся значений. Различают фреймы-образцы (прототипы), хранящиеся в БЗ, и фреймы-экземпляры, отображающие реальные ситуации на основе поступающих данных. Знания предметной области представляются фреймами-объектами, фреймами-сценариями, фреймами-ролями, фреймами-ситуациями и др.

Эта модель базируется на восприятии человеком окружающего мира и его психологии. Когда человек попадает в какую-то ситуацию, он идентифицирует ее с некоторой типовой структурой, имеющейся в его памяти. Эта структура и является фреймом – декларативным представлением типовой ситуации, дополненная процедурной информацией о возможностях и путях ее использования.

Фреймы математически представляются как ориентированные графы с помеченными вершинами и дугами. Обладают наглядностью, модульностью, объединяют достоинства процедурного и декларативного представления знаний, эффективны при обработке семантической составляющей знаний.

Продукционная МПЗ. Продукционная модель позволяет представить знания в виде продукционных правил, т.е. предложений типа: ЕСЛИ <перечень условий>, ТО <перечень действий >.

«Условие» – это образное предложение, по которому идет поиск в базе знаний, «действие» – это операция, выполняемая при успешном результате поиска.

Продукционное правило в общем случае представляется в виде

$$i : S; C; A \rightarrow B; P,$$

где i – номер продукции; S – описание класса ситуаций, в котором эта структура может использоваться; C – условие, при котором данная продукция активизируется; $A \rightarrow B$ – ядро продукции (например, «ЕСЛИ A_1, A_2, \dots, A_n , ТО B »); P – постусловие продукционного правила, определяющее действия, которые необходимо произвести после выполнения B .

Суть модели состоит в том, что если выполняются определенные правилами условия, то нужно произвести некоторое действие. Продукционные модели могут быть реализованы процедурно и декларативно. В процедурных системах непременно должны быть:

база данных, набор продукционных правил, интерпретатор (он определяет последовательность активизации продукций). База данных является переменной частью модели, а правила и интерпретатор постоянными. В зависимости от количества условий и действий в соответствующих перечнях различают следующие типы правил: простое – одно условие и одно действие, составное – много условий и действий, фиксирующее – много условий и одно действие, разветвляющееся – одно условие и много действий.

Продукционные модели применяются в тех предметных областях, где нет четкой логики и задачи решаются на основе независимых правил (эвристик). Правила продукции несут информацию о последовательности целенаправленных действий. Они хорошо отражают прагматическую составляющую знаний и используются для небольших задач.

Гибридная МПЗ. Одним из примеров гибридной модели может быть разработка Т.В. Авдеенко и М.А. Бакаева [2013], которая интегрирует фреймовый и продукционный подходы и представлена в следующем виде:

$$M = \langle O_F, F, P, M \rangle,$$

где O_F – фреймовая онтология; F – конечное множество фреймов-фактов, образуемых в процессе работы системы; P – конечное множество правил, описывающих в декларативном виде процедурный компонент системы; M – гибридный механизм вывода, объединяющий механизмы, действующие в различных компонентах системы [Авдеенко, Бакаев, 2013].

Следует отметить, что в настоящее время существует большое разнообразие подходов, моделей и языков описания данных и знаний. Однако все большую популярность приобретают онтологии. В общих чертах под онтологией понимается система понятий некоторой предметной области, которая представляется как набор сущностей, соединенных различными отношениями. Онтологии используются для формальной спецификации понятий и отношений, которые характеризуют определенную область знаний. Преимуществом онтологий в качестве способа представления знаний является их формальная структура, которая упрощает их компьютерную обработку [Константинова, Митрофанова, 2008; Лапшин, 2010].

Под концептуальной схемой в онтологии подразумевается набор понятий + информация о понятиях (свойства, отношения, ог-

раничения, аксиомы и утверждения о понятиях, необходимых для описания процессов решения задач в избранной предметной области). Среди специалистов, занимающихся проблемами компьютерной лингвистики, наиболее устоявшимся (классическим) считается определение онтологии, данное Губертом: «онтология – это спецификация концептуализации». Также известен ряд расширенных определений Губерта, среди которых выделяются следующие [Никоненко, 2009]:

– онтология – это эксплицитная спецификация концептуализации, где в качестве концептуализации выступает описание множества объектов предметной области и связей между ними;

– онтология – это знания, формально представленные на базе концептуализации. Формально онтология состоит из терминов, организованных в таксономию, их определений и атрибутов, а также связанных с ними аксиом и правил вывода;

– онтология – формальная спецификация разделяемой концептуализации, которая имеет место в некотором контексте предметной области;

– онтология – база знаний, описывающая факты, которые предполагаются всегда истинными в рамках определенного общества на основе общепринятого смысла используемого словаря.

Классическое формальное описание онтологии

$$O = \langle X, R, F \rangle,$$

где X – конечное множество понятий предметной области; R – конечное множество отношений между понятиями; F – конечное множество функций интерпретации.

Существуют альтернативные подходы к созданию и исследованию онтологий. Первый из них – формальный – основан на логике (предикатов первого порядка, дескриптивной, модальной и т.п.). Второй – лингвистический – основан на изучении естественного языка (в частности, семантики) и построении онтологий на больших текстовых массивах, так называемых корпусах [Никоненко, 2009].

По мнению В.В. Якушева [2015], онтологии или онтологический инжиниринг могут стать существенным шагом вперед в формализации знаний в растениеводстве. В то же время онтологический инжиниринг, по его мнению, не является «тривиальной задачей». Он требует от разработчиков профессионального владения

технологиями инженерии знаний – от методов извлечения знаний до структурирования и формализации. При явном интересе к онтологическому инжинирингу, промышленных систем проектирования онтологий пока не существует.

Исследования в области экспертных систем (ЭС) начаты в середине семидесятых годов прошлого столетия в развитие исследований по искусственному интеллекту (ИИ). Целью исследований была разработка программ (устройств), которые при решении трудных для эксперта-человека задач получают результаты, не уступающие по качеству и эффективности решениям эксперта. В западной литературе эту дисциплину называют knowledge engineering (буквально «инженерия знаний»). Этот термин был введен Э.А. Фейгенбаумом [Feigenbaum, 1977]. Задачу данной дисциплины он определил как «...привнесение принципов и инструментария исследований из области искусственного интеллекта в решение трудных прикладных проблем, требующих знаний экспертов...».

Успех создания экспертных систем зависит от соблюдения следующих принципов [Feigenbaum, 1979; Попов, 1987]:

- мощность ЭС обусловлена в первую очередь мощностью базы знаний и возможностью ее пополнения и только во вторую очередь – используемыми ею методами (процедурами);

- знания, позволяющие эксперту (или ЭС) получать качественные и эффективные решения задач, являются в основном эвристическими, экспериментальными, неопределенными, правдоподобными. Причина этого заключается в том, что знания экспертов имеют индивидуальный характер, т.е. свойственны конкретному человеку;

- учитывая неформализованность решаемых задач и эвристический, личностный характер используемых знаний, пользователь (эксперт) должен иметь возможность непосредственного взаимодействия с ЭС в форме диалога.

Специфика приложений ЭС по сравнению с другими системами ИИ состоит в следующем [Попов, 1987]:

- ЭС применяются для решения только трудных практических задач;

- по качеству и эффективности решения ЭС не уступают решениям эксперта-человека;

- решения ЭС обладают «прозрачностью», т.е. могут быть объяснены пользователю на качественном уровне (в отличие от

решений, полученных с помощью числовых алгоритмов, и в особенности от решений, полученных статистическими методами). Это качество ЭС обеспечивается их способностью рассуждать о своих знаниях и умозаключениях;

– ЭС способны пополнять свои знания в ходе диалога с экспертом;

– круг задач, для решения которых используются ЭС. ограничен следующим: интерпретация символов или сигналов (составление смыслового описания по входным данным); предсказание (определение вероятных последствий наблюдаемых ситуаций); диагностика, планирование действий, конструирование конфигураций объектов по заданным ограничениям; контроль (сравнение наблюдаемого поведения с планируемым); отладка (нахождение и устранение неисправностей); исправление (устранение неисправностей); инструктаж, управление поведением системы (интерпретация, предсказание, исправление, контроль).

К неформализованным задачам по Н. Simon [1973] относятся такие, которые обладают одной или несколькими из следующих характеристик: 1) задачи не могут быть заданы в числовой форме; 2) цели не могут быть выражены в терминах точно определенной целевой функции; 3) не существует алгоритмического решения задач; 4) алгоритмическое решение существует, но его нельзя использовать из-за ограниченности ресурсов (время, память).

Неформализованные задачи обычно обладают следующими особенностями: 1) ошибочностью, неоднозначностью, неполнотой и противоречивостью исходных данных; 2) ошибочностью, неоднозначностью, неполнотой и противоречивостью знаний о проблемной области и о решаемой задаче; 3) большой размерностью пространства решения, т.е. перебор при поиске решения весьма велик; 4) динамически изменяющимися данными и знаниями.

В современном понимании ЭС – это человеко-машинный автоматизированный аппаратно-программный комплекс, использующий и моделирующий знания, квалификацию и опыт эксперта в решении интеллектуальных задач, относящихся к определенной предметной области или к группе предметных областей определенного научного, научно-производственного, общественно-политического или социально-культурного направления [Дубровин, 2008].

ЭС, как правило, состоит из трех частей: база знаний, механизм (машина) вывода (МВ), система пользовательского интерфейса (СПИ). По Р. Форсайту [Экспертные системы..., 1987], ЭС содержит еще базу данных и модуль усвоения знаний. Неотъемлемой частью экспертных систем является также эксперт.

База знаний – центральная часть экспертной системы. Она содержит правила, описывающие отношения или явления, методы и знания для решения задач из области применения системы. Можно представлять базу знаний состоящей из фактических знаний и знаний, которые используются для вывода других знаний [Уотермен, 1989].

МВ содержит принципы и правила работы. МВ «знает», как использовать базу знаний так, чтобы можно было получать разумно согласующиеся заключения (выводы) из информации, находящейся в ней. Когда ЭС задается вопрос, МВ выбирает способ применения правил базы знаний для решения задачи, поставленной в вопросе. Фактически МВ запускает ЭС в работу, определяя, какие правила нужно вызвать и организовав к ним доступ в базы знаний. МВ выполняет правила, определяет, когда найдено приемлемое решение и передает результаты программе интерфейса с пользователем. Когда вопрос должен быть предварительно обработан, то доступ к базе знаний осуществляется через интерфейс с пользователем.

Интерфейс – это часть экспертной системы, которая взаимодействует с пользователем. СПИ принимает информацию от пользователя и передает ему информацию. Система интерфейса должна убедиться, что после того как пользователь описал задачу, вся необходимая информация получена. Интерфейс, основываясь на виде и природе информации, введенной пользователем, передает необходимую информацию механизму вывода.

Когда МВ возвращает знания, выведенные из базы знаний, интерфейс передает их обратно пользователю в удобной форме. Интерфейс с пользователем и механизм вывода могут рассматриваться как приложение к базе знаний. Они вместе составляют оболочку экспертной системы. Для базы знаний, которая содержит обширную и разнообразную информацию, могут быть разработаны и реализованы несколько разных оболочек.

Хорошо разработанные оболочки ЭС обычно содержат механизм для добавления и обновления информации в базу знаний [Джексон, 2001; Экспертные системы..., 2015].

ЭС в настоящее время объединяет несколько тысяч различных программных продуктов, которые классифицируются по различным критериям. Классификация этих систем не входит в наши задачи, однако считаем возможным упомянуть хотя бы некоторые из них. Так, К. Нейлор [1991] описывает следующие известные, или, как он их называет, «крупномасштабные» ЭС:

- MYCIN предназначена для диагностики и наблюдения за состоянием больного при менингите и бактериальных инфекциях;
- PUFF предназначена для диагностики нарушений дыхания;
- DENDRAL предназначена для распознавания химических структур. Старейшая [1965 г.] и самая разработанная экспертная система в мире;
- PROSPEKTOR предназначена для поиска полезных ископаемых.

Кроме того, К. Нейлор [1991] упоминает в своей работе еще о 26 экспертных системах.

Известны следующие ЭС:

CLIPS – популярная, находящаяся в свободном доступе, оболочка для построения ЭС (public domain). CLIPS является одной из наиболее широко используемых инструментальных сред для разработки экспертных систем благодаря своей скорости и эффективности (<http://clipsrules.sourceforge.net/>);

OpenCyc – динамическая ЭС с глобальной онтологической моделью и поддержкой независимых контекстов. База знаний содержит 47 000 концепций и 306 000 фактов (www.opencyc.org/);

WolframAlpha – поисковая система, интеллектуальный «вычислительный движок знаний» (<http://www.wolframalpha-ru.com/>).

Кроме того, из разных источников можно привести следующие примеры ЭС (<https://basegroup.ru/deductor/description>; http://www.armrobotics.ru/hp/soft_3.asp?):

- Deductor – платформа, на базе которой создаются законченные аналитические решения. Ориентирована на применение экспертами в различных предметных областях, позволяет обрабатывать любую структурированную табличную информацию;
- COMDALE/C, COMDALE/X и ProcessVision – экспертная система реального времени, предназначенная для наблюдения и

контроля над процессами в условиях производства. Позволяет выработать рекомендации и заключения об управляющих воздействиях в непрерывном процессе принятия решения;

– FLEX – гибридная экспертная система, работающая на различных платформах. Система предлагает фреймовое, процедурное и продукционное представление знаний. FLEX чередует прямой и обратный методы поиска решений, множественное наследование свойств, присоединенные процедуры, автоматическую систему вопросов и ответов. Правила, фреймы и вопросы написаны на естественном языке;

– GBB поддерживает фреймовые рабочие области, содержит высокоэффективный транслятор, фреймовые базы данных и библиотеку, которые поддерживают многомерные алгоритмы поиска целей;

– GURU – оболочка экспертной системы, в которой предлагается широкое разнообразие инструментальных средств обработки информации, объединенных с возможностями, основанными на знаниях. Например, вывод решения от фактов к цели, вывод решения от цели к фактам, смешанное формирование цепочки вывода, многозначные переменные и нечеткие рассуждения;

– HUGIN – пакет программ для конструирования моделей, основанных на системах экспертных оценок в областях, характеризующихся существенной неопределенностью. Содержит удобную для использования дедуктивную систему вывода, основанную на вероятностных оценках, которую можно применить к сложным сетям с причинно-следственными вероятностными связями между объектами;

– WILLARD – способна предсказывать вероятность сильных гроз в центральных районах США. Знания представлены в виде правил, формируемых автоматически на примерах экспертных прогнозов;

– PLANT/cd – предсказывает потери зерна из-за черной совки. Знания представлены в виде правил, выполнением которых управляет механизм обратной цепочки рассуждений;

– PLANT/ds – дает консультации по диагностике заболеваний сои, используя знания о симптомах заболеваний и об условиях произрастания. Знания представлены в форме правил двух типов: 1) правила, представляющие в системе заключения диагностиче-

ского характера; 2) правила, взятые из программы автоматизированного индуктивного вывода, называемой AQ11;

– POMME – оказывает помощь фермерам в уходе за яблоневыми садами, обеспечивая их рекомендациями. Сочетает методы представления, основанные на правилах и фреймах;

– MOLGEN – помогает генетику при планировании экспериментов по клонированию генов. Использует ориентированные на объекты и основанные на фреймах представление знаний и схему управления.

И другие...

Можно выделить следующие основные модели, используемые в ЭС. Этот перечень не является, естественно, исчерпывающим.

Байесовские сети доверия (БСД) – Bayesian Believe Network – используются в тех областях, которые характеризуются наследованной неопределённостью. Эта неопределённость может возникнуть вследствие неполного понимания предметной области, неполноты знаний или когда задача характеризуется случайностью. БСД применяют для моделирования ситуаций, содержащих неопределённость в некотором смысле. Для БСД используется ещё одно название «причинно-следственная сеть», в которых случайные события соединены причинно-следственными связями.

Системы на основе моделей нейронных сетей, в которых имитируются механизмы сетей нейронов – BrainMaker (CSS), NeuroShell (Ward Systems Group), OWL (HyperLogic). На практике эти системы очень широко используются, но имеют недостатки. Основной – необходимость иметь большой объем обучающей выборки, а также то, что даже обученная нейронная сеть представляет собой «черный ящик», поскольку правила принятия решений, а значит, и объяснения их скрыты от человека.

Системы, использующие рассуждения на основе прецедентов (case based reasoning, CBR) – KATE tools (Acknosoft, Франция), Pattern Recognition Workbench (Unica, США). Для того чтобы сделать прогноз на будущее или выбрать правильное решение, эти системы находят в прошлом опыте близкие аналоги, примеры наличной ситуации и выбирают тот же ответ, который был правильным для таких прецедентов. Системы CBR показывают очень хорошие результаты в самых разнообразных задачах. Недостатки – большие временные затраты на поиск прецедентов для текущей ситуации и произвол, который допускают системы CBR при выбо-

ре метрики «близости» текущей, анализируемой ситуации к некоторому прецеденту.

Системы, использующие метод анализа иерархий – МАИ [Саати, 1993] – (Expert Choice, Super Decisions, Decision Lens (Decision Lens Web), Солон-2, СППР «Эксперт», СППР Выбор 5.3) или его модификации [Кравченко, Середенко, 2010; Середенко, 2011]. Например, «Эксперт» (ВНИИ геосистем) реализует метод интегрального иерархического анализа (МИИА). Его отличие от МАИ состоит в том, что в качестве входных данных им могут использоваться не только матрицы предпочтений, заданные пользователем, но и любые числовые значения показателей объективного характера, обрабатываемые в синтезе с базисной методикой обработки матриц предпочтений. Модель задачи по МИИА учитывает как субъективные экспертные суждения, так и объективные числовые характеристики, рассчитываемые по любым формульным алгоритмам [Жиликов, Путивцева, 2004].

Близкие к экспертным системам по существу находятся классы систем поддержки принятия решений (СППР). По сложившейся в международной практике терминологии, система поддержки принятия решений (Decision Support System, DSS) представляет собой компьютеризированную систему, которая поддерживает процесс принятия решений [Поддержка принятия..., 2001; Попов, 2008]. В наиболее общем виде система представляет собой манипулятор данными, оснащенный вычислителем для быстрой обработки информации и представления требуемых результатов для более обоснованного принятия решения на основе интуиции.

По общему мнению, несмотря на стремительное развитие и повсеместное внедрение СППР, на текущий момент нет их четко сформулированного понятия и чаще всего оно зависит от мнения автора. Однако современные СППР могут быть охарактеризованы как системы, направленные на решение задач повседневной управленческой деятельности, которые также являются инструментом для оказания помощи лицам, принимающим решения. С помощью СППР производится выбор альтернатив среди некоторых неструктурированных и слабоструктурированных задач, в том числе и многокритериальных.

Вся интеллектуальная деятельность лица, принимающего решение (ЛПР), разделяется на формализуемую и неформализуемую. Формализуемая деятельность ЛПР отображается системами,

моделями и алгоритмами, которые реализуются на основе перспективных информационных технологий.

По мнению ряда авторов, для неформализуемой деятельности можно использовать следующие основные принципы: «разделяй и властвуй», «бритвы Оккама», «плодитесь и размножайтесь», «выживают сильнейшие», «целое больше части» [Емельянов и др., 2003; Гладков и др., 2009; Петровский, 2009; Редько, 2011].

Предлагается создавать интеллектуальные иерархические СППР, основанные на переходе от алгоритмов обработки и извлечения данных к технологиям анализа и синтеза нечетких знаний (автоформализации профессиональных знаний). Причем в основе этих систем должны лежать эволюционные стратегии и бионические принципы (моделирование эволюционного развития природы, адаптация, иерархическая самоорганизация, использование генетического поиска, а также поиска на основе «муравьиных», «пчелиных» и методов интеллекта стаи). Построение эволюционных моделей, по мнению авторов, позволит увеличить эффективность деятельности ЛПР совместно с СППР по принятию квазиоптимальных и оптимальных решений [Гладков и др., 2009; Курейчик, 2012].

СППР относятся к управляющим информационным системам (УИС), представляющим собой организованный набор процессов, обеспечивающих пользователя необходимой информацией.

СППР должна выполнять следующие функции [Поддержка принятия..., 2001]:

- поддерживать выработку решений для сложных или неопределенных проблем;
- поддерживать принятие решений на всех уровнях управления с обеспечением требуемой степени детализации;
- поддерживать все стадии принятия решения: сбор и обработка данных; разработка и анализ образа действия; выработка рекомендуемого образа действия;
- поддержка адаптивного набора процессов принятия решения;
- интерфейс и логика функционирования СППР должны быть понятны и просты в использовании.

В структуре СППР должны быть следующие основные элементы:

- информационные – для обеспечения пользователя основными данными;

- моделирующие – для обеспечения пользователя аналитическими данными развития системы и прогнозирования;
- экспертные составляющие – для обеспечения пользователей правилами и знаниями формирования вывода и экспертного анализа при выборе эффективных вариантов решения проблем.

В зависимости от функционального наполнения интерфейса системы выделяют два основных типа СППР: EIS и DSS.

EIS (Execution Information System) – информационные системы руководства предприятия. Эти системы ориентированы на неподготовленных пользователей, имеют упрощенный интерфейс, базовый набор предлагаемых возможностей, фиксированные формы представления информации. EIS-системы рисуют общую наглядную картину текущего состояния бизнес-показателей работы предприятия и тенденции их развития с возможностью углубления рассматриваемой информации.

DSS – полнофункциональные системы анализа и исследования данных, рассчитанные на подготовленных пользователей, имеющих знания в предметной области. Обычно для реализации DSS-систем (при наличии данных) достаточно установки и настройки специализированного ПО поставщиков решений по OLAP-системам и Data Mining.

Для приложений в растениеводстве (земледелии) в мировой практике в настоящее время наиболее известна СППР – DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer; система поддержки принятия решений для передачи агротехнологий). DSSAT была разработана в рамках сотрудничества между учеными из университетов Флориды, Джорджии и Вашингтона, Университета Гелфа, Гавайского университета, Международного центра плодородия почв и сельскохозяйственного развития, Министерства сельского хозяйства США, Политехнического университета Мадрида и др. (<http://dssat.net/about>; <http://dssat.net/contact-us>). Существует более 30 лет и продолжает развиваться.

DSSAT – это комплекс программ по управлению базами данных по климату, почвам, агротехническим приемам, а также имитационная модель роста различных культур и программа анализа рисков. Например, версия «Le DSSAT v4.5» охватывает 28 культур. Содержит модуль «идентичная почва», предназначенный для имитации водно-азотно-углеродного баланса почвы, «модель динамики углерода и азота в почве – CENTURY», инструмент управления

климатическими данными «Синоптик» (WeatherMan). Другие версии могут содержать динамические модели «погода-урожай» – CERES (Crop-Environment Resource Synthesis) и CROPGRO (модель CROPGRO является общей моделью растениеводства на основе SOYGRO, PNUTGRO и BEANGRO), позволяющие определять возможность адаптации различных сельскохозяйственных растений к ожидаемым изменениям климата (Dixon et al., 1978; Wajid et al., 2013). Инструмент для работы с экспериментальными данными «ATCreate» для ввода и корректировки данных о росте, развитии и урожайности растений, а также результатов измерений содержания влаги, азота и углерода в почве. Программу «GBuild» для графического представления экспериментальных и имитационных данных. Программу сезонного анализа биофизических и экономических данных культур и программу «STATS» для статистического анализа имитационных и фактических данных по урожайности растений и структуре урожая [Jones et al., 2003; Какпо, 2015].

В России работы по созданию СППР в растениеводстве (земледелии) активно ведутся в Агрофизическом научно-исследовательском институте (Санкт-Петербург). Собственно говоря, АФИ в настоящее время является основным (если не единственным) разработчиком ЭС и СППР в растениеводстве в стране, особенно в области точного земледелия. Коллективом ученых этого института разработаны теоретические и методологические основы построения единого компьютеризированного технологического пространства в области агрономии, предложен понятийный аппарат компьютерного описания технологических операций и агротехнологий в целом. Накоплен определенный опыт создания и эксплуатации с помощью ЭВМ систем поддержки агротехнологических решений [Якушев, Петрушин, 2000, 2000а; Якушев, 2002, 2014; Якушев, Якушев, 2007, 2008; Якушев и др., 2008, 2008а].

В основу разрабатываемой системы положен блок генерации и оптимизации агротехнологий, аккумулирующий знания специалистов (экспертов) по базовым агротехнологиям и технологическим адаптерам. С помощью соответствующего программно-математического обеспечения пользователь (агроном) может синтезировать оптимальную агротехнологию для возделывания заданного сорта на конкретном поле с учётом особенностей своего хозяйства и собственного опыта [Якушев и др., 2003]. Синтез оптимальной агротехнологии является главной целью пользователя СППР.

В информационном обеспечении СППР усовершенствованы базы данных и знаний для создания агротехнологий. Разработана алгоритмическая основа программного комплекса формирования проблемно-ориентированных баз данных и знаний [Якушев и др., 2003; Петрушин, 2005]. Разработана и создана подсистема управления пространственно-атрибутивными данными с навигационным геоинформационным обеспечением. Предложена программная реализация управления агротехнологическими знаниями, которые описываются специально разработанными шаблонами, обеспечивающими электронное представление, формализацию и эффективную обработку [Якушев, Петрушин, 2000, 2000а; Петрушин, 2005].

Программный комплекс обеспечивает синтез различных вариантов агротехнологий. Количество вариантов зависит от содержания хранимых в базе знаний правил выбора и дифференциации агроприемов, их ресурсного обеспечения, почвенно-климатических особенностей рабочих участков, вида культур (сортов) и уровня планируемого урожая. Если в шаблоне описания технологических операций определен критерий её выбора или определены правила выбора других компонент агроприема, то автоматически синтезируется отвечающая этим требованиям выходная информация. При этом генерация агротехнологий может быть решена в пакетном режиме для всех полей хозяйства или для заданного конкретного рабочего участка [Якушев и др., 2010].

Следует заметить, что для успешного применения агротехнологических решений (агротехнологий) необходимо, по нашему мнению, прежде оптимизировать землепользование на территории хозяйствующего субъекта. Для этой цели нами предложены подходы к созданию СППР по рациональному использованию земельных ресурсов хозяйства с применением ГИС [Каличкин, Павлова, 2009].

Анализ современной методологии проектирования автоматизированных систем показывает, что при проектировании СППР целесообразно выделить среду функционирования, совокупность базовых компонент, образующих ядро системы, прикладные программные компоненты, ориентированные на решение отдельных тематических задач по рациональному использованию земельных ресурсов хозяйства, интерфейсы и базы географических данных.

Основным ядром СППР, по нашему мнению, должна быть ГИС. Территориальная привязка к природным объектам (почвам,

рабочим участкам) и объектам административного деления (район, хозяйство) дает пользователю возможности имитационного моделирования совокупности разнородных данных.

СППР строится по принципу иерархической динамической модели. Такая система включает в себя следующие три основных компонента: источник воздействия верхнего уровня (ведущий); источник воздействия нижнего уровня (ведомый) и управляемая динамическая система (УДС).

При решении задач рациональной организации использования земель хозяйства в качестве «ведущего» может выступать совокупность: «социальный» заказ на продукцию, экономическая эффективность и экологическая целесообразность. В роли «ведомого» в такой системе являются земли хозяйства. В поэлементном рассмотрении последними являются поля севооборотов, кормовые угодья и др. Под управляемой динамической системой понимается система земледелия, предусматривающая в своей основе реализацию агротехнических мероприятий по возделыванию культур.

Одним из основных принципов функционирования УДС является создание устойчивых агроландшафтов, способных к воспроизводству высококачественной продукции растениеводства и поддержанию необходимого уровня плодородия почв. СППР, реализованная на основе ГИС может состоять из следующих блоков: исходных данных, моделирования, принятия решений и их анализа (рис. 5).

Блок исходных данных включает совокупность баз данных об объектах УДС, которые подразделяются по характеру использования на картографические, нормативные и статистические.

Картографические БД формируются в ГИС в виде информационных моделей. При традиционном рассмотрении для формирования БД ГИС используются массивы данных цифровых карт, из которых пользователь путем манипулирования информационными слоями и объектами может сформировать необходимые совокупности объектов в виде картографических покрытий. При определении содержания и слоев картографических покрытий возникает задача учета технологических решений ввода исходных данных и использования их в последующих аналитических расчетах.

Основным требованием информационных моделей ГИС является согласованность тематических слоев. В качестве базовых



Рис. 5. Основные блоки СППР по рациональному использованию земель хозяйства на основе ГИС

для решения задач управления земельными ресурсами на уровне хозяйственного землепользования являются среднемасштабные карты (М 1 : 10000, 1 : 25000), но могут быть использованы и крупномасштабные (1 : 2000, 1 : 5000). Выбор определяется особенностями территории землепользования.

Информационные модели в ГИС могут создаваться на базе планово-картографических материалов, данных дистанционного зондирования земли, полевых топографических съемок или их комбинаций. Именно в информационных моделях формализуется отображение объекта при помощи идентифицирующих его параметров. В ГИС информационные модели, как интегрированная совокупность данных, включают три функции – описательную,

измерительную и интегрирующую. В настоящее время информационные модели для решения задач землеустройства и земледелия в основном создаются по картографическим материалам. Однако довольно актуальным является использование данных дистанционного зондирования Земли.

Нормативные БД несут информацию ограничительного, рекомендательного плана. Например, БД с нормами внесения удобрений под культуры, коэффициенты разложения растительных остатков и гумификации, БД по предшественникам культур в севооборотах и т.д.

Статистические БД необходимы для хранения и анализа информации об объектах УДС во временном аспекте. Это многолетние данные об урожайности сельскохозяйственных культур, агроклиматических факторах – сумма осадков за год, суммы активных температур воздуха и почвы, коэффициент увлажнения и др. Агроклиматические ресурсы территории являются одними из основных факторов, влияющих на урожайность культур, следовательно, влияют на величину валового сбора и экономическую стабильность хозяйства.

Блок моделирования представлен имитационными, математико-экономическими методами и расчетно-балансовыми, используемыми для анализа решений. В блоке анализа на основе комплексного имитационного моделирования в ГИС и экономического анализа принимаются окончательные решения об использовании земель.

Пользовательский интерфейс СППР должен быть удобным и наглядным. Инструментарий ГИС позволяет широко использовать запросы атрибутивных и пространственных данных, проводить имитационное моделирование, основанное на концепции булевой алгебры, однако для решения специальных задач, например расчета урожайности, учета доз внесения удобрений, необходима разработка специальных приложений. Концепция интегрированной картографии и встроенные внутренние языки программирования ГИС позволяют создавать собственные приложения. Таким образом, используя ГИС и методы программирования – динамический обмен данными (DDE), OLE, можно создать СППР с удобным и развитым интерфейсом.

Внешняя оболочка СППР создается, например, на языках C++, C#, VisualBasic, в которую встраиваются необходимые функ-

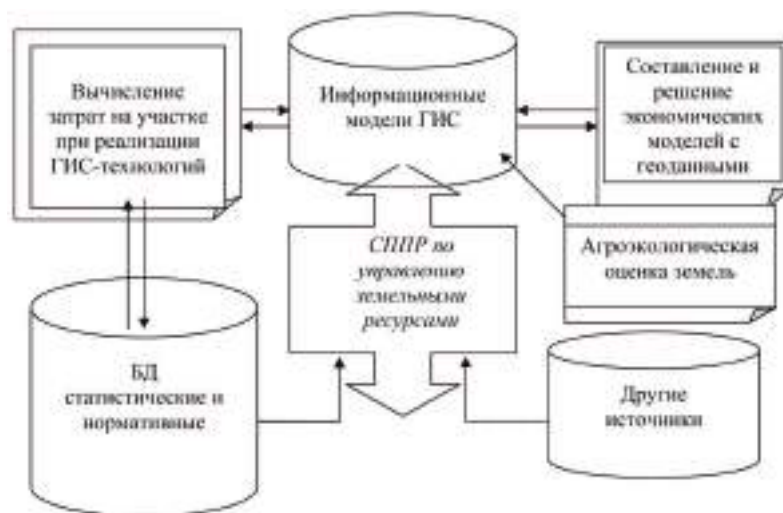


Рис. 6. Схема взаимодействия ГИС и СУБД

ции по работе с картой – открыть карту, просмотреть данные, создать отчет с данными и др. На рис. 6 отображена схема взаимодействия ГИС и СУБД.

Оперативное управление рациональным использованием земельных ресурсов состоит из реализации блоков систем земледелия, а также текущего и ретроспективного мониторинга агроэкологических характеристик земель, объектов сельскохозяйственного назначения и трудовых ресурсов, технических и технологических возможностей хозяйства. На основе мониторинга и научных рекомендаций осуществляется планирование сельскохозяйственных работ. В зависимости от планируемых работ и внешних факторов, воздействующих на хозяйство, происходит реализация фактических мероприятий. С помощью обработки данных по фактическим мероприятиям осуществляется анализ производственной деятельности и принятие оперативных решений. Анализ и обработка информации подразумевает расчёт показателей экономической эффективности планируемых и фактических мероприятий и возможные последствия.

Возможности СППР, по нашему мнению, не ограничиваются только внутривозможными приложениями, но могут также ис-

пользоваться в региональном планировании, в частности, производства зерна. Нами предложена такая система с использованием ГИС [Каличкин, 2006, 2007, 2010].

Ее целесообразность обосновывается необходимостью планирования действий органов управления сельским хозяйством любого уровня для стабилизации производства продовольственного зерна в сложных почвенно-климатических условиях и при ограниченных финансовых ресурсах. В какой-то степени это означает возврат к плановой экономике советского периода. Задача по существу сводится к разработке стратегии и тактики поведения на зерновом рынке и исключает вмешательство во внутрихозяйственные процессы. Для решения задачи необходимо определить объемы инвестиций в производство продовольственного зерна и направления вложений финансовых и материальных ресурсов по территории, при этом необходимо рассчитать степень риска. Задача достаточно сложная, поэтому требует предварительного моделирования путем формализации имеющейся информации об урожайности культуры (в данном случае яровой пшеницы) в различных почвенных, погодных и иных условиях, степени влияния агротехники на урожайность (сорт, удобрения, пестициды и т.п.), внутрихозяйственной организации труда и энерговооруженности, конъюнктуры рынка и т.д.

Решение данной задачи может быть осуществлено путем создания информационно-советующей системы производства продовольственного зерна на основе ГИС (ИСГИС) для принятия управленческих решений на уровне области и административного района. Такая попытка предпринята нами совместно с сотрудниками СибФТИ (В.В. Альт, Т.Н. Боброва, Л.А. Колпакова) на примере Новосибирской области.

Разработанная ИСГИС позволяет определить приоритетные территории области по размещению производства продовольственного зерна. Рассчитать возможное (планируемое) валовое производство зерна при различных уровнях интенсификации на определенной территории, в том числе в разрезе административных районов и необходимое для этого количество материальных и финансовых ресурсов. Определить экономические категории (валовой доход, прибыль) при производстве продовольственного зерна в зависимости от природных условий, предшественников и уровня интенсификации технологий.

В основу ГИС положена электронная почвенная карта области М 1 : 400 000, на которую отдельным слоем нанесены границы агроландшафтных районов в соответствии с районированием, осуществленным СибНИИЗхим. На карте выделены следующие агроландшафтные районы: южно-таежно-лесной Васюганский; северолесостепной Барабинский; северолесостепной Кузнецко-Присалаирский; северолесостепной Кольвано-Присалаирский; центрально-лесостепной Барабинский; центрально-лесостепной Приобский; центрально-лесостепной Верхнекарасукский; южнолесостепной Барабинский; северостепной Причано-Баганский; северостепной Нижнекарасукский. В атрибутивной базе данных отражена природная характеристика этих районов. Это среднесуточная сумма среднесуточных активных температур выше 10 °С, количество годовых осадков, вероятность проявления засухи или переувлажнения в течение вегетационного периода, вероятность вызревания различных типов сортов яровой пшеницы.

Отдельным слоем в ГИС использована административная электронная карта области такого же масштаба, как и почвенная, на которой нанесены границы административных районов. Известно, что для определения территории преимущественного возделывания яровой пшеницы на продовольственные цели по схожим агроэкологическим факторам целесообразно пользоваться не административным делением, а природным. Такую возможность предоставляет агроландшафтное районирование. Однако для принятия управленческих решений требуется оценить возможности именно административных образований. Совмещение в электронной карте этих двух слоев обеспечивает возможность осуществлять административные управленческие решения с учетом природной составляющей.

В БД по районам области использованы материалы официальной статистики о посевных площадях яровой пшеницы, валовом сборе и урожайности за три последних года. Может быть использован любой отрезок времени.

Основную долю затрат в получении товарного продовольственного зерна, как известно, составляют внутрхозяйственные затраты по осуществлению технологий возделывания пшеницы. Многообразие хозяйственных и природных условий предопределяет вариабельность технологий. Различные сочетания факторов, а также интенсивность их проявления в связи с изменчивостью

погодных условий дают большое разнообразие как приемов возделывания культуры, так и их сочетаний в технологии. Базовая технология возделывания пшеницы, по определению СибНИИЗХим (ныне СибНИИЗиХ), состоит из шести блоков: осенняя (зяблевая) или паровая подготовка почвы; зимние мелиорации; подготовка семян к посеву; весенняя подготовка почвы и посев; уход за посевами; уборка и складирование продукции.

Большая часть перечисленных блоков является обязательными при возделывании культуры, некоторые из них – факультативными (например, зимние мелиорации). Часто в производственных условиях не выполняется блок подготовки семян к посеву (протравливание, обогрев), реже – уход за посевом (в экстенсивных технологиях).

В качестве исходной информации в ИСГИС используются технологические карты по возделыванию пшеницы, выполненные в Excel. Технологические карты учитывают все прямые затраты по возделыванию культуры (53 позиции), однако пока ограничены по объему варьирования условий и приемов (использованы базовые технологии). Они составлены с учетом уровней интенсификации по двум предшественникам – по пару и по зерновым. Данные по затратам корреспондируются в рабочую программу и участвуют в расчетах.

В качестве инструментального средства для создания прикладной программы была выбрана система визуального объектно-ориентированного программирования Delphi 6. Она позволяет создавать приложения с помощью широкого набора инструментальных программных средств, формировать и реализовывать запросы из БД на SQL-языке.

В результате работы программы в диалоговом режиме определяются следующие показатели: удельные затраты в рублях и на весь объем работы, валовое производство и валовой доход, прибыль при производстве продовольственного зерна. Программа дает возможность рассчитать необходимые материальные ресурсы на 1 га посевов и на всю площадь и получить более подробную информацию по любому варианту расчетов, при необходимости – изменить входные параметры.

На примере Ордынского района Новосибирской области рассчитано несколько вариантов. Так, при экстенсивном ведении зернового производства затраты (в ценах 2010 г.) по району соста-

вят 115,8 млн р., валовой доход – 324,2, прибыль – 208,5 млн р. В случае изменения интенсивности возделывания культуры (нормальные технологии), при тех же площадях посева, затраты составят 172,2 млн р., валовой доход – 474,5, прибыль – 302,3 млн р.

Созданное программное обеспечение ИСГИС дает возможность рассчитать материальные ресурсы и необходимое количество инвестиций в производство продовольственного зерна для любой территории – области, района, хозяйства. Это позволяет формировать исходные данные для бизнес-планов, проектов производства и т.п., а также принимать управленческие решения.

2.4. Геоинформационное моделирование

Объектом информационного (геоинформационного) моделирования в ГИС выступает пространственный объект.

В ГОСТ Р 52438–2005 определено, что пространственный объект (геообъект, геоинформационный и географический объект) – это цифровая модель материального или абстрактного объекта реального или виртуального мира с указанием его идентификатора, координатных и атрибутивных данных. Пространственные данные (геоинформационные, геопространственные, географические, геоданные) – это данные о пространственных объектах и их наборах.

Пространственные данные (spatial data) состоят из двух взаимосвязанных частей: позиционных (тополого-геометрических), или координатных данных (spatial data, locational data), и непозиционных, или атрибутивных данных (aspatial data).

Позиционные (координатные) данные представляют собой характеристики пространственного объекта, описывающие его местоположение и определяющие геометрические свойства (форму и размеры). При этом описание местоположения осуществляется в установленной системе привязки или системе координат в виде последовательности наборов координат точек.

Непозиционные (атрибутивные) данные состоят из набора имен и значений атрибутов пространственного объекта (семантика). Полное описание атрибутивных данных складывается из взаимосвязанных описаний топологических свойств, геометрии, графической атрибутики объектов и семантики, отражающей содержательную часть объекта [Скворцов, 2006; Геоинформатика, 2010].

Существует расширенное толкование понятия атрибута объекта, последнему могут быть поставлены в соответствие любые типы данных: текст, цифровое изображение, видео- или аудиозапись, графика (включая карту), что реализуется на практике в мультимедийных электронных атласах. Под атрибутами понимаются именно содержательные, тематические (непозиционные, непространственные) свойства объектов [Основы геоинформатики, 2004].

В ГИС все данные организуются в логические группы (тематические), называемые слоями, которые, в свою очередь, группируются в карты.

Слой карты (тема) – совокупность однотипных пространственных объектов, определённых в одной модели данных на общей территории и в общей системе координат.

Цифровая модель может существовать, храниться и обрабатываться в рамках определенных моделей (представлений). К ним относят растровую, векторную, квадратомерную и иные двух- и трехмерные модели данных, которым соответствуют некоторые форматы данных [Основы геоинформатики, 2004].

Основные цифровые модели, используемые в ГИС [Скворцов, 2006; Геоинформатика, 2010; Ципилева, 2010]:

- цифровая модель местности (ЦММ; digital terrain model, DTM) – математическая модель местности, состоящая из множества наборов пространственных данных, описывающих различные виды сущностей и знаний о Земле. ЦММ соответствует объектно-му составу топографических карт и планов и включает описание формы рельефа Земли, природных и антропогенных объектов и сооружений;

- цифровая карта (ЦК; digital map) – математическая модель графического изображения бумажных карт, общепринятых в картографии. В некотором смысле цифровая карта является упрощённым представлением ЦММ, включающей только те данные по объектам местности, которые непосредственно отображаются на карте. ЦК служит основой для изготовления обычных бумажных, компьютерных, электронных карт, она входит в состав картографических баз данных, составляет один из важнейших элементов информационного обеспечения ГИС и одновременно может быть результатом функционирования ГИС;

- цифровая модель рельефа (ЦМР; digital terrain model, DTM; digitalelevationmodel, DEM; Digital Terrain Elevation Data, DTEM)

– часть цифровой модели местности, описывающая форму земной поверхности. ЦМР в ГИС моделируется с помощью ячеистых моделей данных, называемых обычно DEM (Digital Elevation Model – регулярная сеть высот) и TIN (Triangulation Irregular Network – нерегулярная триангуляционная сеть).

ЦК, ЦММ и ЦМР являются частью соответствующих карт и представляются как наборы слоёв.

Базовыми типами пространственных объектов, которыми оперируют современные ГИС, считаются следующие [Геоинформатика, 2010]:

- точка (точечный объект) – 0-мерный объект, характеризуемый плановыми координатами на плоскости или в пространстве;

- мультиточки – 0-мерные (точечные) объекты, состоящие из нескольких (не менее одной) точек. Этот тип объектов является обобщением типа «Точки»;

- линия (линейный объект, полилиния) – 1-мерный объект, образованный последовательностью не менее двух точек с известными плановыми координатами (линейными сегментами или дугами). Не все последовательные точки могут соединяться между собой отрезками, а потому объекты данного типа могут иметь разрывы, т.е. быть топологически несвязанными;

- область (полигон, полигональный объект, контур, контурный объект) – 2-мерный (площадной) объект, внутренняя область, ограниченная замкнутой последовательностью линий (дуг в векторных топологических моделях (данных) или сегментов в модели «спагетти») и идентифицируемая внутренней точкой (меткой);

- пиксел (пиксель, пэл) – 2-мерный объект, элемент цифрового изображения, наименьшая из его составляющих, получаемая в результате дискретизации изображения (разбиения на далее неделимые элементы растра); элемент дискретизации координатной плоскости в растровой модели (данных) ГИС;

- ячейка (регулярная ячейка) – 2-мерный объект, элемент разбиения земной поверхности линиями регулярной сети;

- треугольники – 2-мерные (площадные) объекты, являющиеся элементами разбиения поверхности на треугольники в нерегулярной модели триангуляции;

- поверхность (рельеф) – 2-мерный объект, определяемый не только плановыми координатами, но и аппликацией Z , которая входит в число атрибутов образующих ее объектов; оболочка тела;

– тело – 3-мерный (объемный) объект, описываемый тройкой (триплетом) координат, включающей аппликату Z и ограниченный поверхностями;

– сложные фигуры (фигуры оформления, объекты САПР – из систем автоматизированного проектирования) – разнообразные 0-, 1-, 2- и 3-мерные фигуры, используемые в ГИС для оформления. При этом на практике используются прямоугольники, эллипсы, дуги эллипса, сплайны, внедрённые изображения (в виде растров и метафайлов), OLE-объекты (объекты для вставки на карту произвольных графических изображений по технологии OLE операционной системы Windows), различные текстовые надписи, указатели, размерные линии, а также специальные объекты для оформления карт в ГИС (масштабные линейки, стрелки направления на север, легенды карты, фрагменты других карт [Скворцов, 2006]).

В самом общем виде в пространственных данных различают три составные части: топологическую, геометрическую и атрибутивную – «геометрию», «топологию» и «атрибутику» цифровой модели пространственного объекта.

Модель данных – способ описания однотипных пространственных объектов, включающий способ описания отдельных объектов, топологических отношений между ними, а также дополнительных знаний о всей совокупности объектов в модели.

Все множество моделей пространственных данных делится на две большие группы (рис.7).

Векторные модели предназначены для описания совокупностей отдельных объектов, например границ рек, озёр, контуров зданий, осей дорог и инженерных коммуникаций. В векторных

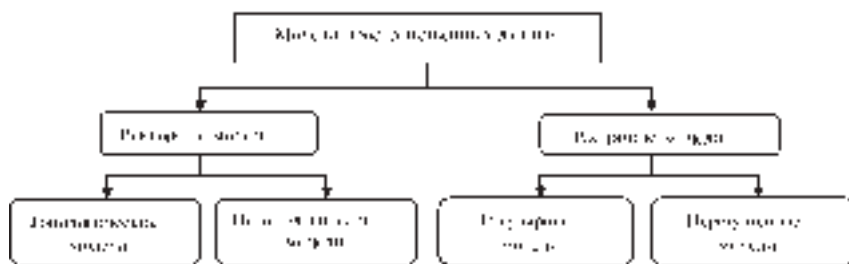


Рис. 7. Модели пространственных данных

моделях каждый объект задаётся некоторым набором координат на плоскости или в пространстве, а также совокупностью атрибутов. В векторных нетопологических моделях все объекты являются полностью независимыми друг от друга и могут произвольно размещаться в пространстве. Векторные топологические модели состоят из описания отдельных объектов, а также топологии – отношений отдельных объектов между собой. Наиболее распространёнными топологическими моделями являются линейно-узловая модель (покрытие) и транспортная сеть.

Растровые (ячеистые) модели описывают непрерывные поля данных таких, как фотоснимки местности, поля загрязнений окружающей среды, высотных отметок (рельеф). В ячеистых моделях некоторый участок территории неразрывно разбивается на одинаковые (прямоугольники в растровой или треугольники в регулярной модели) или различные фрагменты (треугольники в нерегулярной триангуляционной модели), каждый из которых описывается своим набором атрибутов.

Можно сформулировать иначе – векторные изображения в ГИС отображают геоинформационные объекты, т.е. носят объектный характер, растровые изображения отображают поля данных, т.е. носят полевой характер.

По мнению В.С. Тикунова и др. [2004], способы организации цифровых описаний пространственных данных принято называть моделями данных по традиции, унаследованной из теоретических обобщений проектирования систем управления базами данных. Они называются также цифровыми представлениями или просто представлениями пространственных данных (некоторые исследователи считают, что ГИС можно рассматривать как некое расширение концепции баз данных).

На концептуальном уровне все множество моделей пространственных данных можно разделить на три типа: дискретных объектов, непрерывных полей и модели сетей [Основы геоинформатики, 2004].

Эти же авторы считают, что в практике геоинформатики давно определился набор базовых моделей (представлений) пространственных данных (их классификация отличается от предыдущей), используемых для описания объектов размерности не более двух (планометрических объектов):

- растровая модель;

- регулярно-ячеистая (матричная) модель;
- квадротомическая модель (квадродерево, дерево квадратов, квадрантное дерево, Q-дерево, 4-дерево);
- векторная модель;
- векторная топологическая (линейно-узловая) модель;
- векторная нетопологическая модель (модель «спагетти»).

Отдельным классом моделей являются модели, используемые для представления поверхностей (рельефов), а также трехмерных расширений базовых моделей и специальных типов моделей для особых объектов (например, геометрических сетей). Цифровое моделирование рельефа и анализ поверхностей заключается в создании и обработке цифровых моделей рельефа, расчете производных морфометрических характеристик (углов наклона, экспозиции и формы склонов), построении трехмерных изображений местности, профилей поперечного сечения, вычислении объемов, генерация линий сети тальвегов и водоразделов и иных особых точек и линий рельефа, интерполяции высот, построении изолиний по множеству значений высот, цифровое ортотрансформирование изображений и др.

Добавим также, что в литературе существует множество классификаций моделей и наименований конкретных моделей. Построить исчерпывающую классификацию моделей пространственных данных вряд ли возможно [Основы геоинформатики, 2004].

Геоинформационное моделирование имеет несколько видов [Цветков, 1999а; Дышленко, 2012, 2014; Булгаков, 2013; Markelov, 2013; Лотоцкий, 2016; Грищенко, Кобецкая, 2017]:

- моделирование с использованием ранее созданных моделей пространственных данных;
- моделирование с использованием ГИС для построения картографических или трехмерных моделей;
- трехмерное моделирование с использованием ГИС, САПР или других программ трехмерного моделирования;
- моделирование с использованием геоданных и геоинформации для построения пространственных моделей.

Методически пространственное информационное моделирование включает моделирование континуума, дискретных объектов, применение информационных конструкций, знаковых моделей, образное когнитивное моделирование, моделирование структуры, представления и сложности [Лотоцкий, 2016].

Технологически пространственное информационное моделирование делится на математическое моделирование, информационное, моделирование с использованием цифровых моделей, моделей пространственных данных, с использованием ГИС, с использованием геоданных и геоинформации. Общим для этих видов является использование трех интегрированных групп данных: «место», «время», «тема» [Markelov, 2013; Лотоцкий, 2016].

Цель геоинформационного моделирования – либо «объяснение того, что есть», либо «прогнозирование того, что будет». Моделирование позволяет с меньшими затратами воссоздать процессы взаимодействия реального объекта и внешней среды и выявить критерии оптимизации этого взаимодействия. Особенностью геоинформационного моделирования является опора на пространственные отношения [Цветков, 1998, 2013; Геоинформатика, 2010].

При визуальном моделировании применяют знаковое геоинформационное моделирование. При знаковом геоинформационном моделировании моделями служат знаковые образования какого-либо вида, например карты [Середович и др., 2008; Маркелов, 2012].

При исследовании явлений или процессов предпочтительным является математическое моделирование [Кравченко, 2008, 2008а; Вовк, 2012]. Математическая модель представляет собой совокупность формальных описаний (формул, уравнений, неравенств, логических условий), отражающих реальный процесс изменения состояния объекта в зависимости от различных внешних и внутренних факторов. Особенностью геоинформационного математического моделирования является использование топологии [Маркелов, 2012а] и геоданных [Markelov, 2012].

При исследовании пространственных объектов широко применяют цифровое моделирование. В информатике и геоинформатике цифровое моделирование заключается в реализации возможностей математических методов и программных средств для моделирования объектов [Майоров, 2012; Журкин, Хлебникова, 2012], с использованием возможностей системного анализа [Цветков, 2015].

Геоинформационное моделирование включает следующие специальные технологии [Кравченко, 2012]:

- геогруппировка – построение временной динамической графической модели путем объединения совокупностей графических объектов в более крупные объекты;

– буферизация – процедура построения полигональных объектов по заданным ареальным, линейным и точечным объектам и параметрам буферизации;

– генерализация – процедура обобщения графических объектов и изменения их видимости при изменении масштаба и получения соответствующих новых атрибутивных данных;

– комбинирование – процедуры композиции или декомпозиции графических объектов на основе отношений между ними;

– геокодирование – процедура координатной привязки данных одной таблицы к данным другой, позиционно определенной таблицы;

– обобщение данных – процедура создания атрибутов новых объектов на основе отношений атрибутов исходных объектов.

Создание цифровой модели землепользования (ЦМЗ). В цифровой картографии существует понятие цифровой модели местности (ЦММ), под которой согласно ГОСТу понимается цифровая картографическая модель, содержащая данные об объектах местности и ее характеристики (ГОСТ 28441–99). По нашему мнению, для агроэкологической оценки земель и создания агрономической ГИС можно использовать цифровую модель землепользования (ЦМЗ). Под ЦМЗ мы понимаем цифровую модель, включающую основные цифровые карты – топографическую, почвенную, землеустроительную. ЦМЗ можно также рассматривать в виде совокупности взаимно увязанных тематических карт (векторно-топологическая цифровая модель), которая при необходимости может быть расширена [Каличкин, Павлова, 2006].

Для осуществления агроэкологической оценки земель с помощью ГИС необходимо решить ряд задач, связанных с выбором модели отображения пространственных данных и созданием баз данных.

Все многообразие исходной информации, используемой при оценке земель, необходимо свести к конечному набору показателей. Последнее достигается путем применения различных моделей данных в ГИС. При разработке таких моделей реализуются приемы абстракции и генерализации, позволяющие выделить объекты исследований, форму их представления, основные и второстепенные свойства изучаемых объектов.

При формировании ЦМЗ реализуются базовые модели пространственных данных: растровые, регулярно-ячеистые, вектор-

ные топологические и нетопологические. Каждая модель данных имеет свои особенности обработки и представления информации и используется на разных этапах агроэкологической классификации земель.

Растровые модели данных используются на начальном этапе в виде отсканированных материалов почвенных, топографических карт и др. Растровые модели могут представляться также цифровыми космическими снимками. В этом случае информация о геоморфологическом строении местности, почвенном покрове, сельскохозяйственных землях и т.д. извлекается путем дешифрирования снимков.

Достоинством растровых моделей следует считать наглядность и непрерывное представление изучаемой поверхности. Данные модели представляет собой аналог реального мира, аппроксимирующей объекты в виде совокупности ячеек конечного растра. При этом каждой ячейке растровой модели соответствует одинаковый по размерам, но разный по характеристикам участок поверхности. Каждая ячейка растра может характеризоваться тоном изображения, цветом, спектральной яркостью. Это позволяет применять к ним различные методы автоматизированной обработки информации.

Регулярно-ячеистые модели основаны на разбиении изучаемой территории на ячейки в регулярно-ячеистом представлении пространственных объектов аналогично растру в их растровом представлении. С помощью этого способа представления данных пространственно-непрерывная информация, характерная для природных объектов, формализуется. В этом случае каждая ячейка растра заключает информацию о количественной характеристике объекта (температура, влажность, глубина грунтовых вод и т.д.). Детальность отображения изучаемой территории в виде ЦМЗ как в растровой, так и в регулярно-ячеистой модели будет зависеть от размера ячейки растра. Регулярно-ячеистые модели используются для синтезированного анализа данных о природных факторах и автоматизированного составления карт группировок земель.

Иной способ организации пространственных данных предусмотрен в векторных моделях. В этом случае изучаемые объекты описываются в виде набора пары координат. Эти координаты несут в себе информацию о геометрических характеристиках и их пространственном расположении. Векторные модели реализуются

при формировании ЦМЗ на этапе создания карт (почвенной, природно-сельскохозяйственного районирования и др.).

Векторная модель представления данных обладает некоторыми преимуществами, среди которых можно выделить компактную структуру данных, файлы хранения данных в векторном формате имеют значительно меньший объем в отличие от растровых изображений. Достоинством векторных моделей следует считать возможность получения геометрических и метрических характеристик объектов. Векторная модель хорошо подходит для отображения границ между изучаемыми объектами. Векторно-топологические модели данных позволяют осуществлять топологические отношения между объектами (включает объект, пересекает справа, слева и т.д.). Для оперирования топологическими свойствами объектов используются различные процедуры геоинформационного моделирования. Одной из распространенных аналитических функций служит оверлей.

Сущность процедуры оверлея заключается в «наложении» друг на друга двух или более слоев. В результате этой процедуры образуется графическая композиция (графический оверлей исходных слоев или один производный), содержащая структуру пространственных объектов исходных слоев. Топология этой композиции и атрибуты арифметически или логически становятся производными от топологии и значений атрибутов исходных объектов [Баранов и др., 1999].

Таким образом, векторные модели несут информацию о местоположении объектов исследований, растровые о том, что располагается в той или иной ячейке раstra.

Выбор моделей пространственных данных определяет в последующем физическую структуру базы данных.

В зависимости от характера используемого исходного материала и методов сбора данных выделяются следующие современные технологии создания ЦММ [Варламов и др., 1995; Берлянт, 2001а, 2006; Журкин, Хлебникова, 2012]:

- на основе планово-картографических материалов – «картометрический»;
- по материалам полевых съемок – использование электронных тахеометров и GPS-съемки;
- на основе материалов аэро- и космосъемки – данные ДЗЗ;
- комбинированная технология создания ЦММ;

– по материалам, полученным при помощи Internet-сети или других ГИС.

Создание ЦМЗ с использованием планово-картографического материала. Суть этой технологии заключается в выполнении следующих технологических этапов: подготовка исходного планово-картографического материала (ИКМ) к цифрованию, сканирование, векторизация (перевод ИКМ из растровой формы в векторную), контроль топологии, заполнение семантической БД карты. Например, технологический процесс создания цифровой топографической карты (ЦТК) включает следующие этапы (рис. 8).

Существовавший традиционный способ составления почвенных карт и землеустройства территории вызывает трудности при переводе их в цифровую форму. Перед составлением почвенной (ЦПК) и землеустроительной (ЦЗК) карт необходимо проведение корректировки с внесением соответствующих дополнений и изменений по результатам обследования (уточнение границ рабочих участков, полей севооборотов и т.д.). В качестве исходных картографических материалов используются топографические планы (или карты) масштаба 1 : 10 000 (1 : 25 000).

Следует заметить, что исходные картографические материалы (ИКМ) обладают рядом особенностей: почвенные планы и планы внутрихозяйственного землеустройства представлены в виде от-

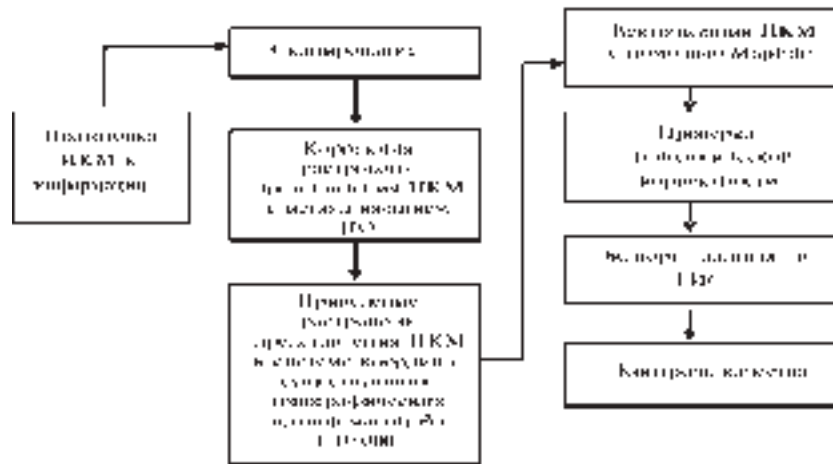


Рис. 8. Схема создания ЦТК картометрическим методом

дельных фрагментов, наклеенные на марлевую основу; деформация ИКМ имеет нелинейный характер; топографические и тематические карты разнородны по точности и времени изготовления [Калюжин и др., 2003; Середович и др., 2003].

В связи с этим была разработана технология создания ЦПК и ЦЗК. Главным условием создания ЦПК и ЦЗК является выбор базового масштаба ЦМЗ и использование ЦТК в качестве основы. Технология создания карт заключалась в выполнении следующих операций: сканирование исходного материала; обработка растрового представления ИКМ и устранение помех в растровом представлении ИКМ с применением ПО Photoshop; географическая привязка растрового представления ИКМ в системе координат существующего топографического плана; создание объектов ЦПК и заполнение семантической БД; проверка топологической корректности ЦПК.

Создание ЦМЗ с применением электронных тахеометров и спутниковых навигационных систем (GPS). Основными достоинствами использования электронных тахеометров для создания ЦМЗ являются быстрота геодезической съемки местности и возможность сбора данных в труднодоступных местах. Применение электронных тахеометров эффективно при создании карт и планов крупных и средних масштабов – от 1 : 500 до 1 : 25 000. Быстрота геодезической съемки обосновывается тем, что автоматически определяемые параметры (превышения, горизонтальные и вертикальные углы, длины линий) записываются в электронный накопитель и считываются в память ПЭВМ. Затем выполняется предварительная обработка собранных данных, уравнивание и контроль геодезических измерений в специализированных программных пакетах – Credo, AutoCad. После чего производится построение геодезического плана или карты в необходимом масштабе и условных знаках в соответствии с требованиями Инструкции по топографическим съемкам.

Стандартные (встроенные) в ПО Credo, AutoCad функции обмена данными с другими информационными системами, в том числе геоинформационными, позволяют экспортировать готовый цифровой план в ГИС.

Современный и широко распространенный способ создания цифровых карт основан на использовании спутниковой навигационной системы (ГЛОНАСС) или системы глобального позиционирования (GPS).

Спутниковые навигационные системы активно применяются при выполнении различного рода геодезических работ в кадастре и землеустройстве:

- создание опорных пунктов государственной триангуляции 3 и 4 классов, аналитических сетей сгущения 1-го и 2-го разряда с густотой и точностью согласно требованиям действующих инструкций;
- вычисление координат опорных точек, необходимых при межевых работах;
- вынос на местность точек проекта внутрихозяйственного землеустройства, границ хозяйств, а также при разбивке инженерных сооружений;
- привязка (плановой, высотной и планово-высотной) аэрофотоснимков и космических снимков для их дальнейшего использования при создании карт, а также при формировании ЦММ и ЦМР;
- привязка границ землевладений и землепользований к государственной геодезической сети.

Преимуществами использования GPS-методов измерений по сравнению с традиционными наземными методами сбора данных являются [Дивеев, Сердюков, Флегонтов, 1996; Обзор электронного..., 1996; Генике, Побединский, 1999]:

- возможность непосредственного определения координат опорных точек с привязкой к Государственной геодезической сети (ГГС) и пунктам опорной межевой сети (ОМС);
- слабая зависимость GPS-аппаратуры от погодных условий и времени суток;
- отсутствие необходимости сооружения специальных наружных знаков для наблюдения (сигналов и пирамид);
- простота измерений и быстрое получение конечных результатов.

Требования к определению координат пунктов GPS-методами устанавливаются соответствующим видом земельно-кадастровых и землеустроительных работ. Наиболее высокие требования предъявляются при привязке границ земельных участков и выносе проектов землеустройства на местность [Инструкция по межеванию..., 1996). При этом средняя квадратическая ошибка определения положения межевого знака на местности, в соответствии с Инструкцией, дифференцируется для категорий земель.

Современные GPS/ГЛОНАСС-приемники применяют также при проведении специальных обследований, например почвенных. Для повышения производительности работ почвенные разрезы привязывают в реальном масштабе времени и используют спутниковые навигационные приемники, интегрированные с приемником дифференциальных поправок системы WAAS (система широкозонной навигационной дифференциальной навигации), передаваемых с геостационарных спутников. Средняя квадратическая погрешность положения точки привязки почвенного контура с учетом дифференциальных поправок составляет не более 3 м в зависимости от времени работы, используемого оборудования и других факторов.

В России производятся многосистемные (GPS⁺, т.е. с несколькими приёмниками), трёхдиапазонные навигаторы Glospace SGK-70, 72NV и другие модели, способные работать одновременно с несколькими навигационными системами – ГЛОНАСС, GPS, Галилео, и принимающие сигналы всех спутников, которые находятся в данный момент над потребителем, что повышает скорость и точность определения координат.

Общая технология создания ЦМЗ с применением спутниковой навигационной аппаратуры может выполняться в следующей последовательности: составление проекта сгущения от пунктов государственной геодезической сети; выполнение геодезических измерений на местности с помощью GPS-аппаратуры; уравнивание результатов геодезических измерений с применением специального программного обеспечения; перевод координат пунктов из системы WGS-84 в систему прямоугольных координат проекции Гаусса-Крюгера; получение каталога координат точек съёмочного обоснования; оформление цифровых карт в соответствующих условных знаках с применением различных автоматизированных систем (например, ПО AUTOCAD, CREDO и др.); вывод готовой продукции на печать или экспорт готовой картографической продукции в ГИС.

Создание ЦМЗ с использованием данных ДЗЗ. К данным ДЗЗ относят материалы, полученные с самолетов, малых летательных аппаратов, а также различных космических спутников, т.е. данные аэрофото-, видео- или космической съемки.

Создание ЦМЗ по данным съемки с самолетов, а также малых летательных аппаратов основывается на получении исходных дан-

ных в фотографическом или цифровом виде, дальнейшей их обработке методами цифровой фототриангуляции, создание векторной основы по снимкам, заполнение атрибутивных БД. Обработка материалов аэрофотосъемки осуществляется с применением специальных фотограмметрических станций. В России в настоящее время используются зарубежные и отечественные программные продукты. Примерами могут служить цифровая фотограмметрическая станция PHOTOMOD («Ракурс», Москва, <http://www.racurs.ru/index.php>), SDS (Новосибирск) и др.

Автоматизированной фотограмметрической системой PHOTOMOD, предусматриваются функции создания цифровых фото- и ортофотопланов и моделей рельефа. Система состоит из модулей построения фототриангуляции АТ, трех модулей DTM и модуля Stereodraw, предназначенного для построения ЦММ в стереорежиме. В последующем обработанные данные передаются в среду AutoCad в форматах TIFF (ортофотопланы) и DWG, DXF (векторные объекты).

Источником данных для создания ЦМЗ могут быть также снимки, полученные с малых летательных аппаратов. Данная технология применяется для небольших территорий. Так как на малых летательных аппаратах не предусмотрены гирростабилизирующие установки, то требования к точности составления цифровых планов по снимкам предъявляются более низкие, в отличие от технологии ЦМЗ по аэрофотоснимкам. Широкое использование аэрофотоснимков для создания ЦМЗ затрудняется из-за зависимости съемки от погодных условий, времени года и суток.

Космические снимки обладают важным преимуществом за счет оперативности получения информации о пространственном размещении используемых пахотных земель, а также объективности и независимости получаемой информации [Барталев и др., 2007; Савин и др., 2011]. Кроме того, они обладают рядом положительных качеств таких, как естественная генерализация, широкий охват снимаемой территории, оперативность и периодичность времени съемок. Необходимо отметить, что методы анализа географических данных, реализованные в программах по обработке ДЗЗ, являются более развитыми в сравнении с методами, реализованными в ГИС.

Системы ДЗЗ характеризуются несколькими видами разрешений: пространственным, спектральным, радиометрическим и вре-

менным. Под термином «разрешение» обычно подразумевается пространственное разрешение.

Пространственное разрешение характеризует размер наименьших объектов, различимых на изображении. В зависимости от решаемых задач, могут использоваться данные низкого (более 100 м), среднего (10–100 м) и высокого (менее 10 м) разрешений. Снимки низкого пространственного разрешения являются обзорными и позволяют охватывать значительные территории – вплоть до целого полушария. Такие данные используются чаще всего в метеорологии, при мониторинге лесных пожаров и других масштабных природных бедствий. Снимки среднего пространственного разрешения в настоящее время являются основными источниками данных для мониторинга природной среды. Спутники со съемочной аппаратурой, работающей в этом диапазоне пространственных разрешений, запускались и запускаются многими странами – Россией, США, Францией и другими, что обеспечивает постоянство и непрерывность наблюдения.

Каждая система дистанционного зондирования уникальна и характеризуется своими особенностями. Но независимо от типа используемых чувствительных элементов, сенсоры передают изображения в виде прямоугольной матрицы пикселей (от англ. picture elements). Чем меньше размер пикселя, тем выше пространственное разрешение. В зависимости от назначения, изображения дистанционного зондирования могут иметь размер пикселя от нескольких сантиметров до нескольких километров.

Съемка высокого разрешения из космоса до недавнего времени велась почти исключительно в интересах военной разведки, а с воздуха – с целью топографического картографирования. Однако в настоящее время есть несколько коммерчески доступных космических сенсоров высокого разрешения (KBP-1000, IRS, IKONOS), позволяющих проводить пространственный анализ с большей точностью или уточнять результаты анализа при среднем или низком разрешении.

Количество электромагнитной энергии, попадающее в один пиксел, преобразуется в число и в двоичном виде передается на землю. Число двоичных разрядов (битов), которыми кодируется каждый пиксел, называется радиометрическим разрешением, и чем больше битов используется на каждый пиксел, тем выше радиометрическое разрешение. Для каждого пикселя определяются

несколько отсчетов – по одному на каждый участок (зону) спектра. Поскольку каждая система дистанционного зондирования работает в определенных участках спектра электромагнитных волн, чтобы выбрать подходящий сенсор, нужно точно знать не только требуемые значения пространственного и радиометрического разрешений, но и то, в каких участках спектра отражаются те или иные явления.

Спектральное разрешение указывает на то, какие участки спектра электромагнитных волн (ЭМВ) регистрируются сенсором. При анализе природной среды, например для мониторинга посевов, этот параметр наиболее важный. Условно весь диапазон длин волн, используемых в ДЗЗ, можно поделить на три участка – радиоволны, тепловое излучение (ИК-излучение) и видимый свет. Такое деление обусловлено различием взаимодействия электромагнитных волн и земной поверхности, различием в процессах, определяющих отражение и излучение ЭМВ.

Наиболее часто используемый диапазон ЭМВ – видимый свет и примыкающее к нему коротковолновое ИК-излучение. В этом диапазоне отражаемая солнечная радиация несет информацию главным образом о химическом составе поверхности. Подобно тому как человеческий глаз различает вещества по цвету, сенсор дистанционного зондирования фиксирует «цвет» в более широком понимании этого слова. В то время как человеческий глаз регистрирует лишь три участка (зоны) электромагнитного спектра, современные сенсоры способны различать десятки и сотни таких зон, что позволяет надежно выявлять объекты и явления по их заранее известным спектрограммам. Для многих практических задач такая детальность нужна не всегда.

Если интересующие объекты известны заранее, можно выбрать небольшое число спектральных зон, в которых они будут наиболее заметны. Так, например, ближний ИК-диапазон очень эффективен в оценке состояния растительности, определении степени ее угнетения. Для большинства приложений достаточный объем информации дает многозональная съемка со спутников LANDSAT и TERRA (США), SPOT (Франция), Ресурс-О (Россия). Для успешного проведения съемки в этом диапазоне длин волн необходимы солнечный свет и ясная погода.

В системе дистанционного мониторинга земель АПК и для работ по Федеральной целевой программе «Сохранение и восста-

новление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006–2010 годы и на период до 2013 года» использовались следующие виды данных [Буряков, 2011]:

- спутниковые данные низкого пространственного разрешения NOAA/AVHRR (1 км) SPOT/Vegetation (1 км) Terra/MODIS (250 м – 1 км), периодичность съемки 1 раз в сутки;

- данные среднего пространственного разрешения LANDSAT ETM+ (28 м) SPOT/HRV/HRVIR (10/20 м).

По мнению И.Ю. Савина и др. [2011], для организации мониторинга посевов на уровне страны или отдельных субъектов РФ в наибольшей степени удовлетворяют данные спектрорадиометра MODIS, установленного на спутниках NASA TERRA и AQUA. MODIS позволяет получать информацию в нескольких спектральных каналах, на основе которых можно рассчитывать вегетационные индексы; пространственное разрешение данных (250 м) позволяет получать информацию о состоянии растительности на уровне отдельных полей практически во всех основных сельскохозяйственных регионах России; данные MODIS распространяются свободно почти в реальном режиме времени. В сочетании со свободно распространяемыми данными со спутников серии LANDSAT, а также данными различных коммерческих спутниковых систем (например, RapidEye) данные MODIS могут служить основой для мониторинга посевов в стране. Такая информация, в частности, является основой Системы дистанционного мониторинга земель агропромышленного комплекса (СДМЗ АПК). Для мониторинга посевов в масштабах всей страны снимки с таким разрешением видимо недостаточны, однако для построения ЦММ, в том числе ЦМЗ, нужны снимки более высокого пространственного разрешения.

В Новосибирской области данные со спутников оперативно принимаются и обрабатываются 2–3 раза в сутки в Западно-Сибирском региональном центре приема и обработки спутниковых данных (ЗапСибРЦПОД), расположенном в Новосибирске. Например, для мониторинга состояния посевов зерновых культур используется информация со спутника TERRA (сканер MODIS; ширина полосы захвата 2330 км, пространственное разрешение 250 м, в двух спектральных диапазонах – 0,62–0,67 мкм (в красной области спектра) и 0,84–0,87 мкм (в инфракрасной) и спутников

SPOT-2 и SPOT-4 (пространственное разрешение 20 м, ширина полосы съемки 60 км [Антонов, Сладких, 2009]).

Следует также отметить, что Сибирским отделением РАН на протяжении ряда лет развивается информационная инфраструктура, обеспечивающая хранение, архивацию и пользовательский доступ к данным дистанционного зондирования Земли спутниками TERRA, SPOT и AQUA. Система оперативной обработки спутниковых данных создана и эксплуатируется в ЦКП ДДЗ СО РАН [Шокин и др., 2012, 2013].

Задача интерпретации мультиспектральных данных заключается в принятии решения о принадлежности входного видеосигнала к тому или иному классу объектов по признакам этого класса, т.е. в отнесении векторов признаков к тому или иному классу объектов. В качестве признаков выступают яркостные, текстурные и смешанные параметры. Методы распознавания видеосигналов в зависимости от того, как они будут описаны по признакам, подразделяются на детерминированные и статистические.

Распознавание космических снимков производится с применением методов обучения и без обучения. Метод распознавания образов с обучением основан на построении по априорной обучающей информации так называемых «решающих правил», в соответствии с которыми все пространство признаков подразделяется на классы, что обеспечивает также нахождение границ между этими классами. Метод распознавания без обучения строится по принципу разделения всего пространства признаков на классы по сходным параметрам (однородности выбранного критерия).

В современном развитии программных средств по обработке ДЗЗ происходит взаимное сближение с ГИС-технологиями. Так, ПО ДЗЗ наполняются процедурами и функциями, характерными для ГИС такими, как создание атрибутивных БД и векторных карт. Со стороны ГИС происходит интеграция функций трансформации, географической привязки космоснимков и возможности импорта обработанных данных из программных продуктов обработки ДЗЗ. Наиболее развитыми, полнофункциональными и широко используемыми ПО ДЗЗ являются ERDAS Imagine, Er Mapper, EASI/PACE, TNT, IDRISI и др. [Лонский, 1999].

Общая схема создания ЦММ на основе использования ДЗЗ представлена следующими технологическими этапами ([Савиных, Цветков, 2001]; рис. 9 несколько изменен и дополнен нами).

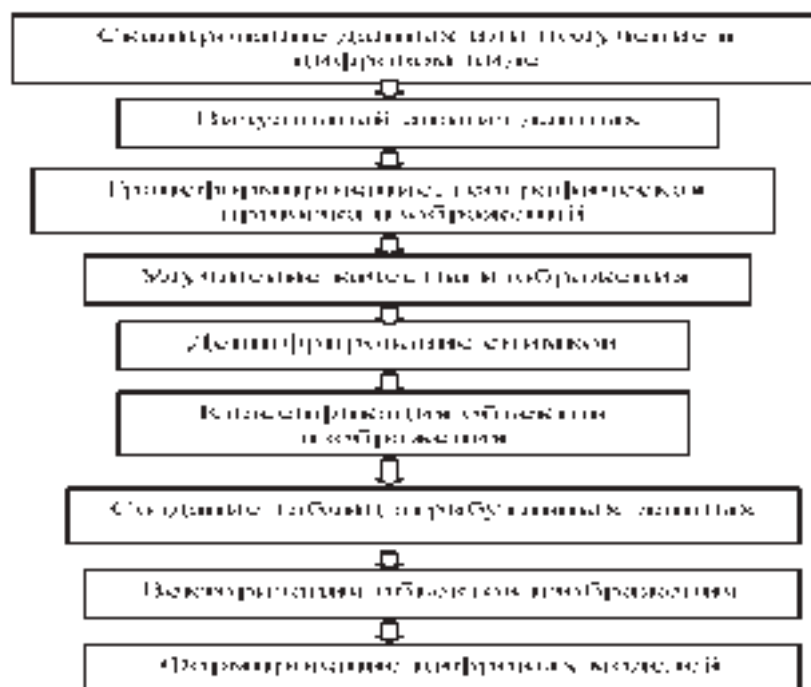


Рис. 9. Схема создания ЦММ на основе использования ДЗЗ

В результате космических съемок, помимо различных преобразований многоспектральных данных, увеличивается возможность от использования разновременных спутниковых наблюдений для создания ряда тематических карт. Это позволяет расширить возможность наблюдения за развитием процессов и явлений природного и техногенного характера. В процессе выделения полезного тематического сигнала из потока видеоинформации и ее интерпретации обеспечивается решение проблемно-ориентированной задачи. При этом цифровые карты, созданные по космоснимкам, реализуют принцип – одна цифровая карта ко многим, в отличие от наземных методов измерений, при обработке которых получают одну цифровую карту.

В настоящее время при создании ЦММ используются комбинированные методы, основанные на совмещении того или иного

вида геодезической съемки. Выбор технологии зависит от задач решаемых пользователем, а также от площади и сложности картографируемой территории (рельефа местности, контурности естественной и иной растительности).

Широко распространенными в настоящее время при обновлении топографических карт являются совмещенные GPS и тахеометрическая съемки, позволяющие в оперативном режиме выполнять привязку к пунктам государственной геодезической основы, а также развивать съемочную сеть. Данный метод основан на использовании спутниковых геодезических систем реального времени и электронных тахеометров (рис. 10).

Наиболее эффективна данная технология при использовании полевого портативного компьютера. При этом съемка местности может вестись в реальном масштабе времени (Real Time Kinematic – RTK), что обеспечивает быстрое определение плановых и высотных координат пунктов, а также съемку участков труднодоступных для GPS-приемников. Полевое спутниковое оборудование для съемки включает опорную базовую станцию и один подвижный комплект (минимум), поддерживающий режим измерений RTK. В комплект базовой станции входит спутниковая антенна, приемник и передающий радиомодем с антенной. В передвижной (съемочный) комплект геодезического оборудования входит спутниковая антенна, приемник, радиомодем, многофункциональный контроллер-накопитель. При съемке местности применяются одно- и двухчастотные приемники. Использование двухчастотных

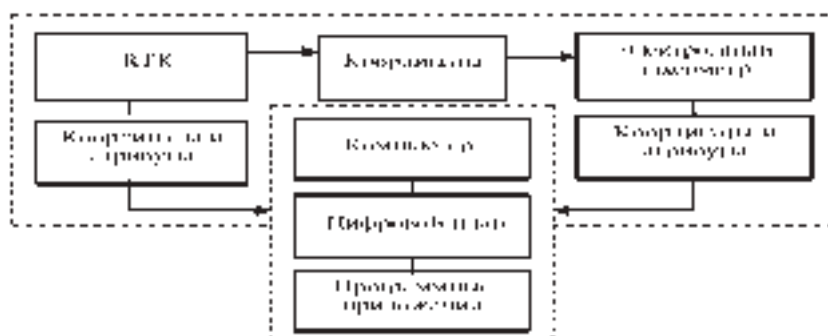


Рис. 10. Технология создания цифрового плана комбинированным методом с применением GPS-аппаратуры и электронных тахеометров

приемников позволяет определить начальное разрешение многозначности фазовых измерений быстрее и точнее.

Кроме рассмотренных методов входные данные для ЦМЗ могут поступать из других источников, например средств телекоммуникации, к которым относят прежде всего Internet, локальные сети, из других ГИС. Если цифровые карты экспортируются из других ГИС посредством функций импорта данных, то основной задачей создания ЦМЗ является согласование цифровых карт, а при необходимости их ректификация (перевод координат векторной карты в иную картографическую проекцию).

На этом же этапе составляется редакционно-техническое указание на создание ЦМЗ. В редакционно-технических указаниях должны быть точно описаны: задание на выполнение работы, используемое программное обеспечение, исходные материалы, их назначение, масштаб, год съемки, номенклатура листов и другие специальные сведения.

Затем описывают требования и правила цифрового описания тематических объектов модели. К примеру требования могут быть сформулированы в следующем виде:

- ЦМЗ состоит из слоев ГИС. Примерное описание информационного слоя указано в табл. 6;

- цифровое описание геометрии объектов должно выполняться с учетом следующих основных пространственно-логических отношений: пересечение, совмещение, вложение, параллельное соседство;

- основой для цифрового описания объектов служат топографические планы, горизонталы, контуры растительности и грунтов, полевые дороги и др.

В редакционно-технических указаниях также приводят подробное описание атрибутивных данных к каждому информационному слою. Кроме того, разрабатывается таблица с примером оформления цифровых карт, где указывают название объекта и вид его оформления. Это размер и тип шрифта для текстовых подписей; тип, толщина, цвет – для объектов линейного вида; вид, цвет и толщина границ, а также фоновая закрашка – для объектов полигонального типа. При разработке технических указаний руководствуются действующими ГОСТами по оформлению цифровых карт, условными топографическими знаками и принятыми условными обозначениями карт специального назначения.

Таблица 6

Перечень основных слоев тематической карты

Наименование слоя	Содержание слоя	Модель данных/ тип данных
Ручей	Ручьи	Векторная /линейный
Озера	Озера	Векторная /площадной
Болота	Болота, заболоченные участки	» »
Древесная	Древесная растительность	» »
Кустарники	Кустарниковая растительность	» »
Населенный пункт	Населенный пункт	» »
Дороги	Дороги шоссейные, полевые	Векторная /линейный
Отметки	Абсолютные высоты точек, м	Векторная /точечный
Горизонтالي	Изолинии рельефа	Векторная /линейный
Крутизна склонов	Крутизна склонов в углах наклона, уклонах (например, %)	Растровая или векторная
Экспозиция склонов	Экспозиция склонов, градусы	Растровая
Производные карты рельефа (морфометрические)	Кривизны поверхности, топографических индексов, LS фактора	»
Почвы	Контурные почвенных разновидностей	Векторная /площадной
Пашня	Контурные пашни – поля севооборотов, рабочих участков	Векторная /площадной
Лесополосы	Лесополосы	» »
Сады	Сады	» »
Сенокосы	Контурные участков, предназначенные для сенокоса	» »
Пастбище	Контурные участков, предназначенные для выпаса скота	» »
Огороды	Контурные участков, используемые для ведения личного подсобного хозяйства и огородничества	» »

В нашем случае ЦМЗ содержит карты: топографическую, почвенную, землеустроительную. На цифровой топографической карте отображаются объекты: овраги, болота, гидрографическая и дорожная сеть, границы населенных пунктов и прочие объекты. Цифровая почвенная карта необходима для расчета урожайности культур с учетом особенностей почвенного покрова хозяйства. При этом она содержит семантическую информацию по каждому почвенному контуру. Это наименование почвенной разновидности

сти, индекс почвенной разновидности, содержание гумуса, илистой фракции, объемная масса почвы, рН и другие параметры.

На цифровой карте землеустройства отражаются объекты внутрихозяйственного устройства. Семантическая информация к карте землеустройства включает номер рабочего участка и поля, тип использования земельного участка (полевой или кормовой севообороты), площадь и поля базы данных для записи урожайности культур. Атрибутивная таблица к участкам пастбищ и сенокосов заполняется аналогично, но с указанием назначения использования земельного участка. К прочим землям относятся земельные участки, занятые под многолетними насаждениями, населенными пунктами, дорогами и другими участками, неиспользуемыми в сельскохозяйственном производстве.

После создания цифровых карт осуществляется контроль их топологической корректности, а также согласование между собой. Контроль на топологическую корректность производится в автоматизированном режиме в специальных программах по векторизации картографического материала и в ГИС путем совмещения узлов объектов, имеющих общие границы. Дополнительно осуществляют контроль согласования границ «соседних» объектов карты. Например, грунтовая дорога не должна пересекать озеро или пруд.

Выбор метода интерполирования при создании ЦМР. Для осуществления геоморфометрического анализа рельефа важными вопросами являются выбор размера ячейки растровой модели и метода интерполирования построения моделируемой поверхности. Для определения размера ячейки растровой модели использованы работы Т. Negl [2003, 2006]. При цифровом моделировании рельефа разрешение моделируемой поверхности связано с расположением горизонталей на цифровой топографической карте, его сложностью, высотой сечения рельефа. В ходе моделирования необходимо «не потерять» изгибы горизонталей из-за выбора крупного размера ячейки растра [Кошель, 2004]. При выборе оптимального размера ячейки ЦМР некоторые ученые рекомендуют использовать расстояние между горизонталями [Новаковский и др., 2003; Negl, 2006]. Таким образом, достаточная величина ячейки растра должна составлять $1 \pm 0,5$ мм масштаба топографической карты [Самсонов, 2016]. В соответствии с этим для карт М 1 : 100 000 величина ячейки растровой модели может иметь разрешение

50, 100 или 150 м. При использовании карт более крупного масштаба, например 1 : 50 000, размер ячейки растровой модели может быть равным 50 или 75 м.

В процессе создания ЦМР исходные данные представлены множеством опорных точек, располагаемых на картах в виде нерегулярной или регулярной сети в узлах квадратной, прямоугольной или гексагональной сетки, или в виде полилинейных объектов. Для создания непрерывной модели поверхности распределения признака в виде растра опорная точка s_i описывается в БД ГИС плановыми и высотными координатами. Плановые координаты (x_i, y_i) опорной точки задаются в виде геометрических примитивов (объектов типа точка) в области определения ЦМР. Высотные координаты точки (аппликаты) z_i могут быть установлены путем векторизации картографического материала, а также экспортом результатов наземных или дистанционных измерений.

В целом задача моделирования исходной поверхности из конечного множества дискретных точек в непрерывную поверхность состоит в выборе способа восстановления показателя z_i в некоторой точке s_0 :

$$Z(s_0) = f(x_1, \dots, N, y_1, \dots, N),$$

где $Z(s_0)$ – ожидаемое значение для некоторого неизвестного положения точки; f – интерполяционная функция; s_0 – точка с неизвестной высотой.

Современные ГИС имеют разнообразные функции пространственного анализа данных, связанных с обработкой атрибутивной и геометрической информации векторных и растровых карт. Наиболее часто используются методы пространственного анализа, основанные на моделировании поверхности в точках измерений. Профессиональные ГИС позволяют аппроксимировать поверхность при использовании известных методов: обратных взвешенных расстояний IDW (Inverse Distance Weighting), преобразования нерегулярной сети TIN-модели (Triangulation Irregular Network), метод кригинга (Krige), ANUDEM, сплайн-интерполяция (Spline), естественной окрестности (Natural Neighbor). По способу создания моделируемой поверхности все методы делятся на глобальную и локальную интерполяции, а также детерминированные и геостатические [Studies on Environmental..., 2012].

Наиболее простым можно считать метод обратных взвешенных расстояний (IDW). Суть метода состоит в вычислении пространственной координаты z_i путем усреднения значений аппликат точек, расположенных в некоторой окрестности. Процесс усреднения производится с учетом весовых коэффициентов, при котором вычисляется некоторая обратная функция расстояния от опорной точки до центра ячейки раstra [Watson, Philip, 1985]

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^n w_i z(s_i) = \frac{\sum_{i=1}^n z(s_i) d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^n 1 / d_{i0}^{-p}},$$

где w_i – вес опорной точки; s_i – опорная точка с известными значениями высоты; $z(s_i)$ – известное значение высоты опорной точки; p – показатель степени при определении веса опорной точки (наиболее часто $p = 2$); n – количество измеренных точек в ближайшем соседстве для s_0 ; d_{i0} – расстояние между точками с известным и неизвестным значением высоты.

Метод относится к жесткому интерполятору, так как для его применения требуется задание значения показателя степени. В результате работы алгоритма точки, расположенные ближе к тем, для которых производится оценивание, оказывают большее влияние на значение высоты по сравнению с наиболее удаленными точками.

Метод кригинга (Krige), по существу, является локальным геостатическим интерполятором, служит инструментом для моделирования различных явлений. Общее уравнение для метода кригинга записывается в виде [Matheron, 1981; Zimmerman et al., 1999]

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^n w_i z(s_i),$$

В отличие от детерминированных методов кригинг создает вероятностную модель, рассматривая пространственную переменную $z(s_i)$ в виде случайной функции. Это позволяет создавать модель с учетом корреляции данных и выполнять оценку точности поверхности для прогнозирования.

Построение поверхности путем интерполирования сплайн-методом (Spline) состоит в приближенном вычислении значения аппликаты в некоторой точке посредством использования поли-

номов [Hofierka et al., 2002]. Для этого часто используется регуляризованный сплайн, общее уравнение которого записывается в виде

$$Z(s_0) = T_k(x_{1,\dots,N}, y_{1,\dots,N}) + \sum_{i=1}^n \lambda_i R(d_{i0}),$$

где $T_k(x_i, y_i)$ – полином степени k ; λ_i – коэффициент для i -опорной точки; $R(d_{i0})$ – функция, аргументом которой является расстояние d_{i0} .

На общее условие интерполяции $F(s_i)=f(x_i, y_i)$ накладываются дополнительные требования точности интерполирования. Это приводит к решению системы уравнений

$$R(d_{i0}) = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{d_{i0}^2}{4} \left[\ln\left(\frac{d_{i0}}{2\tau}\right) + c - 1 \right] + \tau^2 \left[k_0 \frac{d_{i0}}{\tau} + c + \ln\left(\frac{d_{i0}}{2\tau}\right) \right] \right\},$$

где k_0 – моделирующая функция Бесселя; $c \approx 0,577215$ – константа Эйлера; $\pi \approx 3,14$; τ – параметр регуляризации сплайна.

Метод позволяет моделировать поверхность, проходящую точно через опорные точки и минимизировать функционал при использовании суммы квадратов вторых и третьих производных функции. Для этого используется параметр регуляризации, который отвечает за значение весовых коэффициентов третьих производных [Hofierka et. al., 2002].

Метод ANUDEM предложен М. Хатчинсоном [Hutchinson, 1989] и относится к локальному адаптивному интерполятору. Особенность метода заключается в интерполировании поверхности по опорным точкам, которая наиболее близко описывает особенности поверхностного стока, дренажной сети на территории водосборного бассейна. Метод позволяет создавать ЦМР путем связанной сети водотоков на основе горизонталей рельефа. В ходе интерполирования на каждой итерации алгоритма отыскиваются пониженные участки рельефа на водоразделах, седловинах, лощинах и привязываются к линиям поверхностного стока. Метод основан на вычислении значений интерполируемой функции через выражение вида [Hutchinson, Gallant, 2000]

$$Z(s_0) = f(x_1, \dots, N, y_1, \dots, N) + \varepsilon_i,$$

где ε_i – средняя ошибка стандартного отклонения для w_{si} .

Каждая опорная точка располагается, как правило, случайным образом, и стандартное отклонение для каждой ячейки растровой модели вычисляется по формуле

$$w_{si} = hv_i / \sqrt{12},$$

где h – размер ячейки растровой модели; v_i – локальный угол наклона в ячейке растровой модели.

Метод TIN (Triangulation Irregular Network] использует совокупность высотных отметок в узлах нерегулярной сети треугольников. Сеть треугольников соответствует триангуляции Делоне, создаваемой на множестве дискретно расположенных точек, соединенных между собой непересекающимися отрезками прямых линий. При этом описанная вокруг каждого треугольника окружность не содержит внутри себя опорные точки исходного множества. Метод относится к локальному, точному и детерминистическому интерполятору (Using ArcGIS Spatial Analyst, 2001 [Weng et al., 2006]).

Согласно методу естественного соседства (Natural Neighbor) оценка аппликаты опорной точки в некоторой области исследования определяется как среднее взвешенное значение этой переменной в ближайших опорных точках [Using ArcGIS Spatial Analyst, 2001; Tan, Xu, 2014].

Для выбора методов интерполирования создана ЦМР территории водосборного бассейна площадью 8742 км². Территория расположена в междуречье Иртыш, Тара и Уй Омской области и охватывает Седельниковский, часть Тарского и Муромцевского районов (географические координаты левого нижнего угла квадрата 56°23' с.ш., 74°06' в.д. и правого верхнего угла – 57°04' с.ш., 76°18' в.д.).

ЦМР осуществлено с помощью профессиональной полнофункциональной ГИС ArcGIS 10 и специализированных модулей Spatial Analyst, 3DAnalyst, Hydrology. Используются методы: регуляризованный сплайн (SP_REG), сплайн Tenson (SP_TEN), кригинг универсальный с линейной моделью вариограммы (KR_UNIV), KR_GAUSS ординарный кригинг с гауссовой функцией, ординарный кригинг с экспоненциальной функцией (KR_EXP), ординарный кригинг со сферической моделью вариограммы (KR_OR), ординарный кригинг с линейной моделью вариограммы (KR_LIN), естественного соседства (NN), ANUDEM, TIN, обрат-

ных взвешенных расстояний (IDW). При этом в качестве опорных точек служили высоты земной поверхности, в том числе урезом водных поверхностей и искусственных покрытий, определенные по топографическим картам двух масштабов 1 : 100 000 и 1 : 50 000. Пространственное разрешение для ЦМР было задано равным 100 м.

Статистические характеристики ЦМР, полученные различными методами интерполирования, приведены в табл. 7, рис. 11. При этом минимальные и максимальные значения высот точек ЦМР существенно различаются для моделей, созданных методами SP_REG и TIN. Наибольшие отклонения высоты от среднего значения и среднего стандартного отклонения получены для регуляризованного сплайна и составили $-0,78 \pm 2,276$ м. Для TIN модели, преобразованной в растр, наблюдаются также наиболее высокие отклонения $-0,54 \pm 0,592$ м. Наименьшие различия от среднего по высоте и стандартному отклонению вычислены для модели, созданной методом ANUDEM и составили соответственно $0,06 \pm 0,197$.

Для детальной оценки результатов интерполирования на изучаемой территории выбраны участки с различными условиями рельефа: водоразделы, склоны, поймы рек.

Таблица 7

Общие сведения о цифровых моделях рельефа

Метод	Количество ячеек растра	Min	Max	Sr	St. dev
SP_REG	3088254	-9,398	199,217	102,360	24,239
SP_TEN	3088254	38,182	155,312	103,313	22,551
KR_UNIV	3088254	54,826	173,591	102,755	20,912
KR_GAUSS	3088254	56,074	147,256	103,473	20,926
KR_EXP	3088254	51,705	150,081	103,573	21,998
KR_LIN	3088254	55,982	147,319	103,524	21,020
KR_OR	3088254	55,893	147,353	103,536	21,103
TIN	8649	52,680	149,394	102,602	22,555
IDW	3088254	52,006	149,984	103,541	21,676
NN	2803571	52,019	149,818	102,655	22,450
ANUDEM	3088254	50,370	151,608	103,199	22,160
Среднее		46,394	156,448	103,139	21,963

Примечание. Min, Max – минимальное и максимальное значение высоты, м; Sr – среднее значение высоты, м; St. dev. – стандартное отклонение, м.

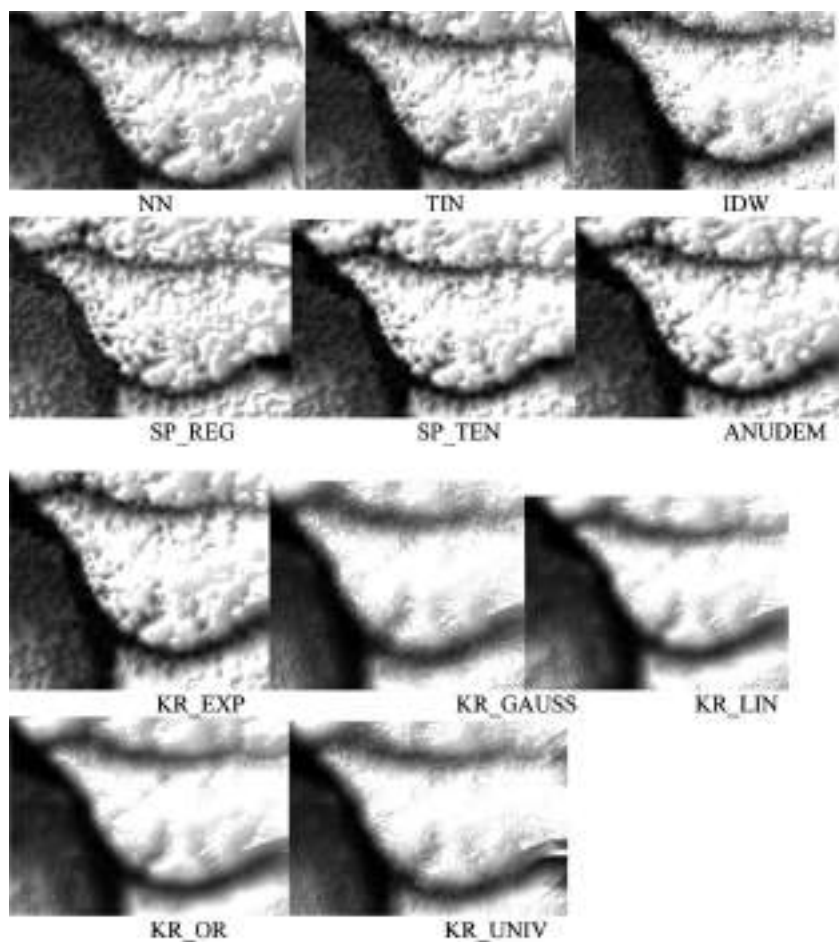


Рис. 11. Результаты моделирования рельефа различными методами

Оценка точности результатов моделирования и построения ЦМР производилась путем вычисления средней ошибки (Mean Error, ME), средней абсолютной ошибки (Mean Absolute Error, MAE) и средней квадратической ошибки (Root Mean Square Error, RMSE) в опорных точках, выбранных случайным образом [Weng et al., 2006; Chen, Yue, 2010; Tan, Xu, 2014]:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_k - z_{k(t)}),$$

$$\text{RMSE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_k - z_{k(t)})^2,$$

где z_k – значение отметки опорной точки на исходной поверхности рельефа; $z_{k(t)}$ – значение отметки опорной точки на моделируемой поверхности рельефа, полученной в ходе создания ЦМР.

В табл. 8 приведены результаты оценки точности для равнинных участков. Наименьшие ошибки (менее 0,2 м) получены для ЦМР, созданных сплайн-методами (регуляризованным и Tenson), а также методом обратных взвешенных расстояний SP_REG, SP_TEN, IDW. Стандартные отклонения MAE и RMSE составили менее 0,03 м. Методы ординарного кригинга с экспоненциальной моделью вариограммы, ANUDEM и естественного соседства NN характеризуются меньшей точностью: ошибка MAE составила от 0,08 до 0,102 м, стандартное отклонение абсолютной ошибки – от 0,149 до 0,276 м. В целом величина средней квадратической ошибки методов не превышает 0,30 м. Методы ординарного и универсального кригинга, нерегулярной сети треугольников TIN обладают наибольшими ошибками ME, MAE и RMSE. Величина RMSE этих методов может достигать более 5 м.

При оценке точности ЦМР для склоновых земель величины стандартных отклонений ошибок в сравнении с равнинными участками возрастают (табл. 9). Сплайн-методы и метод IDW позволили смоделировать ЦМР с наименьшими ошибками. Величины ошибок ME и MAE и стандартных отклонений ошибок незначительные и составляют менее 0,03 м, величины ошибки RMSE не превышают 0,04 м. Для методов KR_EXP, NN, ANUDEM характерна меньшая точность построения ЦМР, ошибки RMSE составляют от 0,30 до 0,60 м. Наименее точными оказались методы TIN, KR_OR, KR_LIN, KR_GAUSS, KR_UNIV, так как величины RMSE составляют от 4 до 9 м и более.

При моделировании ЦМР для участков пойм рек наименьшие ошибки вычислены для сплайн-методов и метода обратных взвешенных расстояний, с RMSE от 0,01 до 0,05 м. Наибольшие ошибки MAE и RMSE получены для методов TIN, KR_OR, KR_LIN, KR_GAUSS, KR_UNIV. Метод создания ЦМР на основе нерегулярной сети треугольников TIN-модели из-за локальной природы глобальные характеристики набора данных не изменяет. Этот метод является методом негладкой интерполяции, поскольку на границах полигонов возникают скачки функции (табл. 10).

Результаты оценки точности показали, что сплайн-методы (регуляризованный и Tenson) и IDW позволяют создавать ЦМР с наименьшими ошибками для различных условий рельефа: равнинных и склоновых

Таблица 8

Результаты оценки точности ЦМР для равнинных участков, полученных различными методами

Метод	К	Error				Absolute error				RMSE
		min	max	mean	st. dev.	min	max	mean	st. dev.	
TIN	435	-10,877	14,320	-0,372	2,470	0,0006	14,32	1,483	2,009	2,47
KR_OR	435	-15,171	21,884	-1,224	4,022	0,012	21,884	2,870	3,072	4,20
KR_LIN	435	-15,377	22,976	-1,420	4,406	0,007	22,976	3,192	3,353	4,63
KR_EXP	435	-0,862	1,085	-0,022	0,179	0,00003	1,085	0,102	0,149	0,18
KR_GAUSS	435	-17,77	24,106	-1,674	4,907	0,0038	24,106	3,609	3,723	5,19
KR_UNIV	435	-17,708	24,802	-1,617	4,796	0,018	24,802	3,491	3,665	5,06
NN	435	-0,998	1,108	-0,034	0,213	0,000027	1,108	0,124	0,175	0,21
SP_REG	435	-0,11	0,132	-0,001	0,020	0,000015	0,132	0,010	0,017	0,02
SP_TEN	435	-0,105	0,050	-0,0008	0,010	0	0,105	0,005	0,009	0,01
IDW	435	-0,203	0,203	-0,005	0,027	0	0,203	0,015	0,023	0,03
ANUDEM	435	-3,586	2,007	-0,018	0,281	0,000015	3,587	0,089	0,267	0,28

Примечание (здесь и далее): Error – ошибка ($Z_i - Z_0$); Absolute error – абсолютная ошибка $|Z_i - Z_0|$; К – количество опорных точек, выбранных для оценки точности ЦМР; mean среднее значение; RMSE – root mean square error.

Результаты оценки точности ЦМР для склонов, полученных различными методами

Метод	К	Error				Absolute error				RMSE
		min	max	mean	st. dev	min	max	mean	st. dev	
TIN	1077	-22,538	23,452	-0,176	4,411	0,0042	23,452	2,738	3,463	4,39
KR_OR	1077	-27,822	36,341	-0,519	7,633	0,012	36,341	5,253	5,603	7,68
KR_LIN	1077	-30,224	39,426	-0,612	8,477	0,012	39,426	5,844	6,171	8,50
KR_EXP	1077	-1,485	1,553	-0,006	0,302	0,00005	1,553	0,184	0,239	0,30
KR_GAUSS	1077	-35,437	42,987	-0,744	9,543	0,012	42,987	6,624	6,909	9,57
KR_UNIV	1077	-30,942	43,013	-0,680	9,112	0,0024	43,014	6,309	6,609	9,14
NN	1077	-3,698	3,387	-0,010	0,384	0,00044	3,698	0,224	0,311	0,38
SP_REG	1077	-0,105	0,095	-0,0003	0,014	0	0,105	0,008	0,012	0,01
SP_TEN	1077	-0,212	0,178	-0,0002	0,031	0,000008	0,212	0,018	0,025	0,03
IDW	1077	-0,242	0,345	-0,001	0,042	0,000008	0,345	0,025	0,034	0,04
ANUDEM	1077	-7,103	5,902	0,061	0,606	0,000015	7,103	0,207	0,567	0,60

Таблица 10

Результаты оценки точности ЦМР для участков поймы рек, полученных различными методами

Метод	К	Error				Absolute error				RMSE
		min	max	mean	st. dev	min	max	mean	st. dev	
TIN	685	-22,538	37,246	0,369	3,785	0,015	37,245	2,298	3,031	5,50
KR_OR	685	-27,748	32,385	0,862	6,363	0,0026	32,385	4,406	4,670	9,63
KR_LIN	685	-31,227	34,129	0,980	7,118	0,007	34,129	4,939	5,217	10,66
KR_EXP	685	-1,659	3,176	0,020	0,267	0,00008	3,176	0,151	0,221	0,27
KR_GAUSS	685	-35,461	36,632	1,132	8,131	0,00069	36,632	5,636	5,970	8,21
KR_UNIV	685	-28,865	34,876	1,332	7,802	0,023	34,876	5,150	5,678	7,92
NN	685	-3,238	6,904	0,036	0,412	0,00015	6,904	0,186	0,369	0,41
SP_REG	685	-0,064	0,104	0,008	0,012	0,000008	0,104	0,007	0,012	0,01
SP_TEN	685	-0,176	0,399	0,002	0,003	0,000004	0,398	0,015	0,025	0,03
IDW	685	-0,296	0,827	0,004	0,05	0,000015	0,8266	0,023	0,044	0,05
ANUDEM	685	-6,270	10,992	-0,015	0,576	0,0024	10,992	0,141	0,559	0,58

участков, а также пойм рек. При этом поверхность, рассчитанная с помощью IDW, сильно зависит от выбора окрестности точки. Поэтому в исследованиях для метода IDW был задан переменный радиус поиска, коэффициент степени принят равный 2.

Метод построения ЦМР на основе TIN-модели может рассматриваться как начальный этап ее создания, требующий дальнейшего преобразования TIN в растр. Для повышения точности необходимо использовать дополнительные сведения о высотах геообъектов природного и искусственного характера. Метод кригинга оказался гибким и быстрым, однако выбор модели вариограммы существенно влияет на результаты построения ЦМР. Экспоненциальная модель вариограммы оказалась наиболее точной для различных условий рельефа в сравнении с другими вариантами кригинга. Метод ANUDEM отличается возможностью быстро обрабатывать различные типы данных в виде точек, линий и корректно отображать поверхность с плавно изменяющимися по высоте участками и участками с резким перепадом высот.

В целом методы кригинга с экспоненциальной моделью вариограммы, ближайшего соседства (IDW) и ANUDEM позволяют создавать ЦМР близкие по точностным характеристикам. Выбор того или иного метода интерполяции зависит от задач исследований и от ожидаемых результатов точности создаваемой ЦМР. В случае необходимости создания наиболее адекватных (точных) ЦМР подходят SP_REG, SP_TEN, IDW, для построения корректной модели гидрологически сложной территории, лучше использовать ANUDEM.

2.5. Применение непараметрической статистики для анализа пространственных данных

В системе адаптивно-ландшафтного земледелия основной единицей региональной агроэкологической типологии земель сельскохозяйственного назначения выступает группа. По отношению к определенной группе земель разрабатываются и реализуются системы земледелия [Агроэкологическая оценка..., 2005]. Для типизации земель на региональном уровне разрабатываются и поэтапно детализируются системы агроэкологической оценки земель на основе уточненного природно-сельскохозяйственного райони-

рования территории. При этом активно используются возможности геоинформационных систем (ГИС). Для корректной реализации их функциональных возможностей необходимо решить задачи выбора и формирования модели пространственных данных, создание и ведение БД. Последние формируются по принципу принадлежности к определенной агроэкологической группе земель (типология). Для создания системы региональной агроэкологической оценки земель необходимы тематические среднemasштабные цифровые карты, которых в Сибири нет, за исключением топографических.

Для создания цифровых карт в ГИС необходимы атрибутивные БД нормативов. По содержанию БД должны включать признаки, а также их наиболее вероятные значения, по которым возможно автоматизированное картографирование определенной группы земель. Для этого необходимо выявить латентные признаки, свойственные, например, переувлажненным землям. В свою очередь, созданные БД ГИС дают возможность осуществлять картографирование агроэкологических групп земель в автоматизированном режиме (топология земель).

Для определения связи морфометрических показателей рельефа с распространением переувлажненных земель и для формирования атрибутивных БД был проведен соответствующий анализ с использованием методов непараметрической статистики и построения цифровых карт [Каличкин, Павлова, 2012].

В исследованиях использовали цифровую модель рельефа (ЦМР), созданную на основе топографической карты М 1 : 100 000, морфометрические карты (горизонтального и вертикального расчленения, углов наклона, расчленения озерно-западинными формами [Павлова, Каличкин, 2009]), карту группировки земель по гидрологическому режиму [Павлова, Каличкин, 2011], космоснимки (ИСЗ LANDSAT-7 ETM⁺), литературные источники на примере территории Омской области.

Для установления связи морфометрических показателей рельефа и распространением переувлажненных земель использован метод пространственного анализа данных. Преимущество данного метода заключается в том, что он позволяет устанавливать пространственное соответствие между изучаемыми явлениями. Метод широко используется для установления зависимости распространения почв и растительности, выявления факторов развития ов-

ражной эрозии и др. [Берлянт, 1978; Демерс, 1999; Митчелл, 2001; Никольская, Прохорова, 2005]. Простым способом анализа карт может служить визуальный, однако более достоверные результаты получаются при применении методов прикладной статистики [Берлянт, 1978; Дэвис, 1999; Митчелл, 2001].

Первоначально необходимо иметь общее представление о распределении морфометрического количественного показателя рельефа на изучаемой территории. Это достигается путем оверлейного пространственного анализа двух карт: морфометрической и растровой модели в ГИС MapInfo, представленной в виде сетки квадратов, т.е. параметры определялись по сетке равномерно расположенных точек и образовывали статистические ряды распределения изучаемых величин. Например, для территории южно-таежно-лесной подзоны Омской области получена статистическая выборка объемом $n=726$ (общий объем выборки $n = 5560$). Для упорядочения полученных данных построен вариационный ряд в графической форме, который позволил получить общее представление о характерных чертах распределения (рис. 12).

Вид гистограмм и характер кривых распределения показателя горизонтального расчленения рельефа свидетельствуют о том, что данный морфометрический показатель не подчиняется закону нормального распределения (рис. 13). Эта особенность была подчеркнута в работах по геологии и почвоведению, в которых отмечено, что те или иные признаки, имеющие отношения к территориальному распространению, не поддаются описанию законом нормального распределения [Антропов, 1976; Благовещенский и др., 1978; Рунион, 1982; Пурсаков, 1986; Тюрин, Шмерлинг, 2004].

Кривые отражают несимметричность пространственного распределения показателя горизонтального расчленения рельефа и указывают на убывающую частоту встречаемости с увеличением степени расчленения. Это объясняется тем, что изучаемая территория характеризуется в целом равнинной поверхностью и горизонтальное расчленение рельефа в большинстве случаев зависит от густоты гидрографической сети. Например, для южно-таежно-лесной подзоны характерна развитая речная сеть, вследствие чего показатель расчленения принимает значения до $1,4 \text{ км/км}^2$. В лесостепных и степной подзонах, где гидрографическая сеть не развита, большая часть территории характеризуется слабым горизонтальным расчленением – до $0,2 \text{ км/км}^2$.

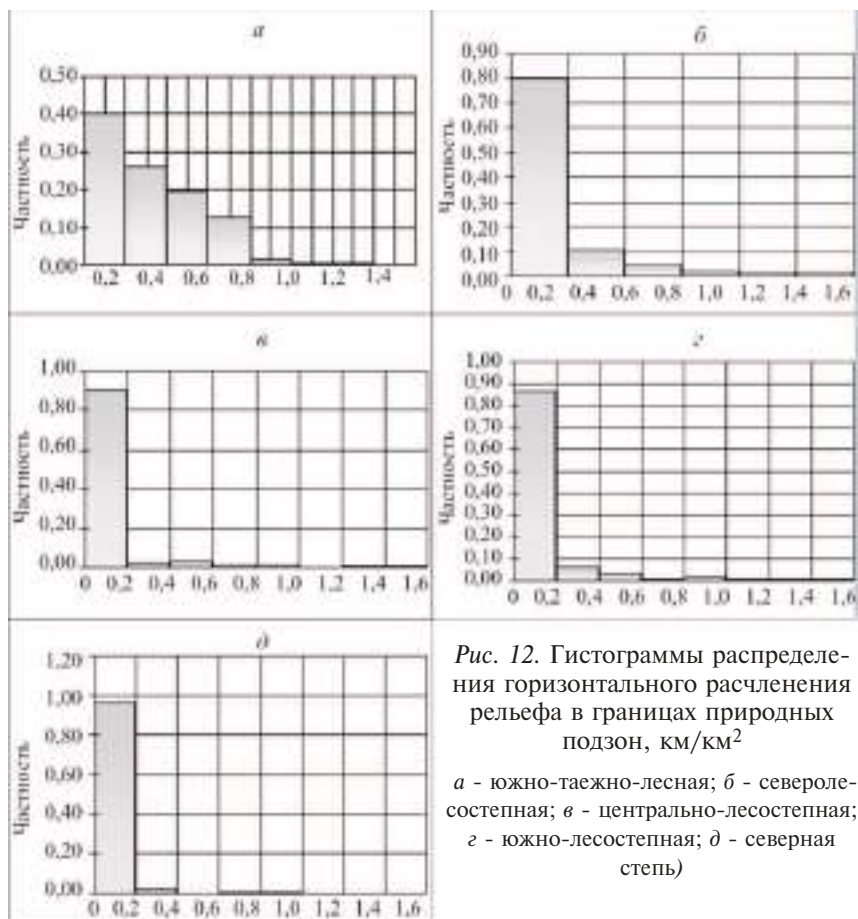


Рис. 12. Гистограммы распределения горизонтального расчленения рельефа в границах природных подзон, км/км²

а - южно-таежно-лесная; б - северолесостепная; в - центрально-лесостепная; г - южно-лесостепная; д - северная степь)

Поскольку варьирование параметров горизонтального расчленения рельефа по территории не подчиняется закону нормального распределения, предполагаем, что вычисление таких характеристик, как среднее и стандартное отклонение, не будет информативным. Кроме того, аппарат и критерии параметрической статистики применять нельзя [Орлов, 2004].

Для того чтобы в этом убедиться, выполнен анализ различных коэффициентов корреляции: линейного коэффициента корреляции Пирсона, корреляционного отношения, рангового коэффициента

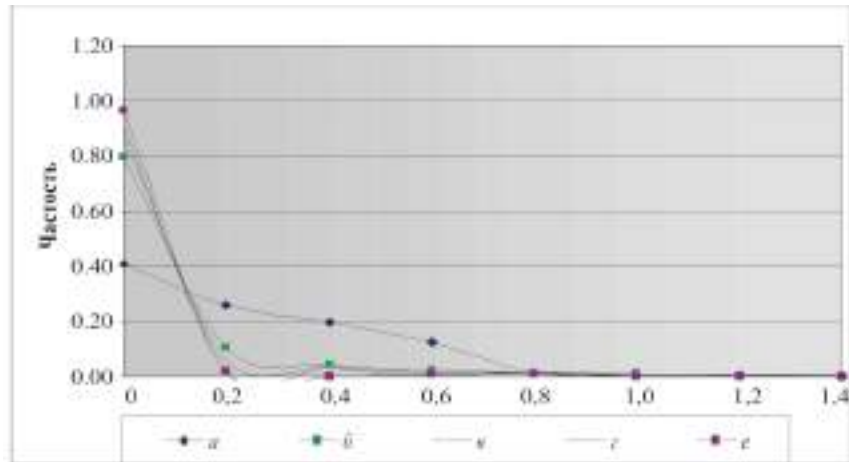


Рис. 13. Кривые распределения горизонтального расчленения рельефа:
a – южно-таежно-лесная подзона; *b* – северо-лесостепная подзона; *v* – центрально-лесостепная подзона; *z* – южно-лесостепная подзона; *d* – северная степь

корреляции Спирмена и Кэндалла, коэффициента сопряженности, полихорического и тетрахорического показателей связи.

Возможность использования коэффициента корреляции определяется формой зависимости между изучаемыми переменными, а также формой представления исходных данных, описывающих переменные. Коэффициент корреляции Пирсона служит оценкой связи между переменными (y и x) в том случае, если их распределение подчиняется нормальному закону распределения (с устойчивыми средними значениями y и x) и они независимы. При этом предполагается наличие линейной связи между переменными, т.е. при увеличении одной из переменных другая в среднем линейно возрастает. Однако для надежного установления нормальности распределения признака требуется большое число наблюдений [Орлов, 2004]. Поэтому одним из ограничений использования линейного коэффициента корреляции Пирсона является наличие генеральной совокупности, состоящей из неограниченного числа наблюдений. Корреляционное отношение, ранговые коэффициенты корреляции Спирмена и Кэндалла наиболее часто используются в тех случаях, когда возможно ранжирование переменных (обычно в порядке возрастания). Одним из ограничений применения ранговых коэффициентов корреляции является

то, что они применимы только к числовым данным [Тюрин, Шмерлинг, 2004].

При статистическом анализе данных зависимость между переменными часто является криволинейной. В этом случае наиболее информативны – непараметрические коэффициенты корреляции. Среди достоинств непараметрических коэффициентов корреляции можно выделить возможность использования в тех случаях, когда регистрируемый признак не может быть с достаточной степенью точности измерен числовыми показателями. Применение непараметрических критериев не ограничено требованием о приближении распределения переменных к нормальному закону распределения. Поэтому непараметрические критерии не требуют вычислений параметров распределений (средних арифметических, среднеквадратического отклонения, ошибок средних). В специальной литературе эти критерии часто называют «свободными от параметров распределения» или «свободными от распределения» [Рунион, 1982].

В проведенных исследованиях использован тетраэдрический показатель связи, так как требовалось установить наличие и степень тесноты связи между распространением переувлажненных земель и морфометрическими показателями рельефа. Этот показатель использован еще и потому, что на одной карте признак имеет количественную оценку (например, горизонтальное расчленение рельефа), а на второй объект не поддается ранжированию (ареалы переувлажненных земель).

Для характеристики распределения вероятностей морфометрических показателей рельефа использованы квантили (квартили): медиана $x_{(0,50)}$, нижний $x_{(0,25)}$ и верхний $x_{(0,75)}$ квантили. Квантили (квартили) широко используются среди различных статистических критериев и методов построения интервальных оценок неизвестных параметров [Орлов, 2004]. Смысловое содержание квантилей заключается в том, что от $x_{(0,75)}$ до $x_{(0,25)}$ заключена центральная часть наблюдений независимо от характера распределения. Верхний квантиль устанавливает границу, слева от которой находятся 75 % наблюдений, нижний квантиль определяет границу, справа от которой расположено 25 % наблюдений. Если для нормального распределения средняя арифметическая совпадает с максимумом плотности и центром распределения, то для распределений, отличных от нормального характеристикой положения

центра распределения, служит медиана $x_{(0,50)}$. Среди достоинств медианы является возможность ее использования для случаев, когда крайние значения признака имеют открытые (нечеткие) границы. Медиана оказывается наиболее устойчивой характеристикой в отличие от средней арифметической. Это объясняется тем, что при вычислении медианы учитывается характер распределения частот изучаемого признака.

В связи с этим в качестве показателей, характеризующих распределение морфометрических величин, использованы медиана, а также нижний и верхний квантили (табл. 11).

Таким образом, с помощью метода квантилей были определены границы изменения морфометрических показателей рельефа для переувлажненных земель. Медиана позволила охарактеризовать центр распределения изучаемых морфометрических показателей рельефа.

С целью установления степени связи между распространением переувлажненных земель и значениями морфометрических показателей рельефа в межквантильном интервале от $x_{(0,75)}$ до $x_{(0,25)}$ использовали тетракорический показатель связи (r_t). Значение тетракорического показателя, характеризующего взаимосвязь распространения переувлажненных земель с горизонтальным и вертикальным расчленением рельефа, варьирует от 0,74 до 0,92 и в большинстве случаев, за исключением одного, он больше 0,70. Поэтому можно сделать вывод о том, что связь между распростра-

Таблица 11

Статистические показатели распределения горизонтального и вертикального расчленения рельефа для переувлажненных земель

Подзона	Горизонтальное расчленение рельефа, км/км ²			Вертикальное расчленение рельефа, м		
	$x_{(0,50)}$	$x_{25\%} \div x_{75\%}$	r_t	$x_{(0,50)}$	$x_{25\%} \div x_{75\%}$	r_t
Южно-таежно-лесная	0,28	0,02–0,38	0,85	5	0–15	0,82
Северолесостепная	0,20	0,01–0,25	0,81	7	5–10	0,76
Центрально-лесостепная	0,10	0,01–0,20	0,92	3	0–5	0,80
Южно-лесостепная	0,10	0,01–0,20	0,85	3	0–5	0,68
Северная степь	0,15	0,01–0,20	0,80	5	0–15	0,74

Примечание. $x_{(0,50)}$ – медиана; $x_{25\%} \div x_{75\%}$ – варьирование показателя горизонтального расчленения рельефа для переувлажненных земель от 25 до 75 % случаев.

нением переувлажненных земель и горизонтальным расчленением рельефа существенная (см. табл. 11).

Пространственный анализ остальных морфометрических карт-слоев рельефа (углы наклона, расчленение озерно-западинными формами) позволил определить зонально-провинциальные нормативные показатели рельефа для группы переувлажненных земель (табл. 12).

На основе полученных данных сформированы БД реляционного типа в формате AccessMicrosoft и создана электронная карта переувлажненных земель в ГИС MapInfo (рис. 14).

Таблица 12

Нормативные показатели рельефа для переувлажненных земель

Подзона	Горизонтальное расчленение, км/км ²	Вертикальное расчленение, м	Расчленение озерно-западинными формами, число западин на 100 км ²	Угол наклона рельефа, град.
Южно-таежно-лесная	0,02–0,38	0–15	2–20	< 1
Северолесостепная	0,01–0,25	5–10	4–5	< 1
Центрально-лесостепная	0,01–0,20	0–5	5–10	< 1
Южно-лесостепная	0,01–0,20	0–5	< 5	< 1
Северная степь	0,01–0,20	0–15	< 5	< 1

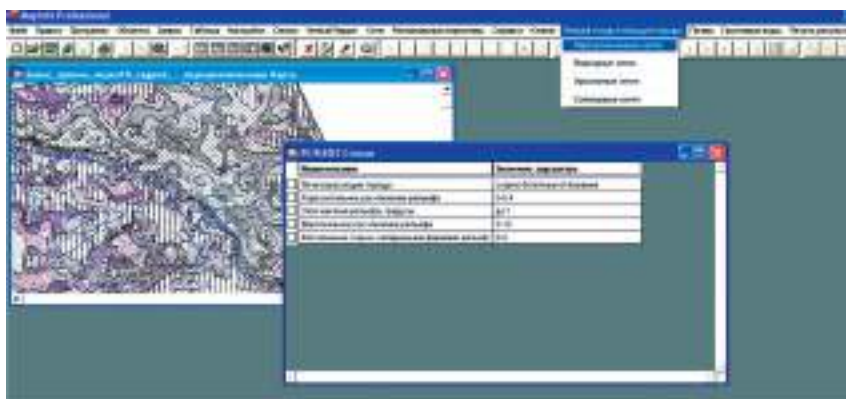


Рис. 14. Фрагмент БД нормативов и электронной карты переувлажненных земель южно-таежно-лесной подзоны Омской области

По структуре БД нормативов переувлажненных земель состоит из двух таблиц. Первая включает метаописания морфометрических показателей рельефа: уникальный идентификатор показателя, короткое наименование показателя, подробное описание показателя, единицы измерения, метод расчета показателя, тип шкалы, характеризующий множество значений показателя, обязательность ввода.

Вторая таблица БД нормативов переувлажненных земель содержит характеристики морфометрических показателей (горизонтальное и вертикальное расчленение рельефа, угол наклона, расчленение озерно-западинными формами). Атрибутивные характеристики БД нормативов могут дополняться и уточняться.

Пространственный анализ данных в совокупности с методами прикладной статистики позволил установить связь между распространением переувлажненных земель и морфометрическими показателями рельефа, а также определить границы варьирования этих показателей. Предложенный подход дает возможность сформировать БД нормативов переувлажненных земель и создать их электронную карту.

2.6. Нейросетевой анализ

В настоящее время хорошо разработан и активно применяется целый класс статистических и адаптивных методов анализа многомерных данных, получивших название нейросетевых методов [Терехов, 1994, 2006; Замятин и др., 2006; Нейронные сети..., 2008].

Нейросетевые методы применяются не только для анализа данных, но и для построения моделей процессов. Предлагаются различные классы нелинейных моделей, построенные на основе статистического анализа первичных данных [Гаврилов, Канглер, 1999]. При этом информационные технологии используются для организации доступа и предобработки первичных данных, хранящихся в ГИС и базах данных. Статистические и адаптивные методы анализа геоданных позволяют улучшить качество исходной информации и построить нейросетевую модель, адекватную как назначению и качеству исходных данных, так и суждениям экспертов и задачам исследователей [Агаев и др., 2006].

Широкое использование нейронных сетей для решения слабо формализованных задач объясняется следующими достоинствами нейросетевого подхода [Горбань, Россиев, 1996; Аксенов, Новосельцев, 2006; Рутковская и др. 2006]:

- автоматическая настройка параметров нейросетевой модели для решения задачи на примерах. Не требуется участие эксперта для построения модели, решающей задачу;
- универсальность. Нейронные сети позволяют стандартным образом, без учета семантики, решать практически любые задачи, которые допускают представление в виде набора примеров, как правило, содержащие входные и выходные данные; могут не содержать выходные данные, если обучение производится без учителя;
- устойчивость при работе с зашумленными и недостоверными данными;
- возможность адаптации нейронной сети к изменяющимся условиям;
- устойчивость к сбоям и разрушениям элементов;
- высокий параллелизм, присущий нейросетевым моделям;
- способность эффективно обрабатывать данные высокой размерности, разнотипные данные.

Существует мнение о том, что в следующее поколение программного обеспечения ГИС будут встроены элементы искусственного интеллекта [Агаев и др., 2006]. Технологии нейросетевого анализа уже сейчас встраиваются в ГИС и предназначаются для решения задач, связанных с анализом и прогнозом явлений и событий окружающего мира, с осмыслением и выделением главных факторов и причин, а также их возможных последствий, с планированием стратегических решений и текущих последствий принимаемых действий [Питенко, 1998, 2000].

В отличие от «традиционных» статистических методов нейронные сети выдают не статистически достоверное, а правдоподобное решение задачи и могут применяться при недостатке эмпирических данных. В качестве достоинств нейронных сетей по сравнению со статистическим подходом можно назвать универсальность и автоматизированный режим настройки нейросетевой модели в условиях априорной неопределенности, что позволяет быстро получить приемлемый результат. Нейросетевые модели налагают слабые ограничения на возможные функции распределения переменных и позволяют избегать априорных предположений о виде функций распределения переменных и структуре модели [Горбань, Россиев, 1996; Питенко, 1998а; Царегородцев, Погребная, 1998].

В обзорной работе С.С. Замай с соавт. «Нейронные сети и ГИС» достаточно подробно описаны преимущества и целесооб-

разность интеграции ГИС и нейронных сетей (<http://www.torins.ru/demo/download/NeuroGIS.pdf>).

В частности они подчеркивают, что основой для математико-картографического моделирования и геоинформационного картографирования является выделение однородных и отграниченных друг от друга объектов. Эти задачи решают процедуры классификации, районирования, таксации, бонитировки, квантирования признаков. Пространственные модели данных ГИС представляются в цифровом виде и поэтому позволяют осуществлять математическое моделирование. В свою очередь, математическое моделирование предполагает более углубленный анализ, чем просто вычисление количественных показателей. Имеется в виду построение пространственно-временных моделей структуры, динамики, взаимосвязей объектов и явлений и на этой основе – создание более сложных моделей и прогноза их дальнейшего развития.

Показатели, лежащие в основе большинства классификационных задач географии, имеют различную природу и могут носить как количественный, так качественный характер. Поэтому алгоритмы анализа геоданных должны уметь работать с характеристиками как числовой, так и нечисловой природы. Это накладывает определенные ограничения на возможности использования всего многообразия методов математического анализа. В ГИС атрибутивное описание объектов анализа уже формализовано и представлено в форме электронных таблиц. Это облегчает использование нейросетевого анализа данных и позволяет преодолеть трудности анализа, связанные с большими объемами первичной информации, пробелами в данных, разнородностью количественных и качественных характеристик объектов. Нейросетевой анализ позволяет проводить параметризацию данных, создавать на их основе простые и наглядные модели.

Нейронные сети используются в задаче выявления пространственно-однородных участков изображения. Эта задача является актуальной при разработке теоретических и методологических основ новых систем земледелия, принципов экологически безопасного землепользования и проектов землеустройства на ландшафтной основе. Отдельные элементы ландшафта могут быть выявлены на основе анализа фрагментов изображения, их формы, цвета, взаимосвязей, неоднородности. С помощью нейронной сети оцениваются взаимосвязи отдельных элементов ландшафта [Геоинформатика, 2005; Исмадова, 2006; Воробьева, 2012].

Известно множество самых разнообразных программ для моделирования нейронных сетей, выпускаемых рядом фирм и отдельными разработчиками и позволяющие конструировать, обучать и использовать нейронные сети для решения практических задач.

Существующие решения можно разделить на три группы [Ясницкий, 2010]:

1. Надстройки для программ прикладных вычислений:

– Neural Network Toolbox – программный модуль системы Matlab, включающий разнообразные типы архитектур нейронных сетей, методов обучения и функций активации. Разработчик Math-Works, Inc.;

– Statistica Neural Networks – набор нейросетевых расширений для пакета прикладной статистики Statistica. Разработчик StatSoft, Inc.;

– Excel Neural Package – набор библиотек и скриптов для электронных таблиц Excel, реализующие некоторые возможности нейросетевой обработки данных. Разработчик ООО «НейрОК».

2. Универсальные нейросетевые пакеты:

– NeuroSolutions – нейропакет предназначен для моделирования широкого круга искусственных нейронных сетей. Разработчик NeuroDimension, Inc.;

– NeuroPro – менеджер обучаемых искусственных нейронных сетей. Разработчик Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск;

– NeuralWorks – нейропакет, в котором основной упор сделан на применение стандартных нейронных парадигм и алгоритмов обучения. Разработчик NeuralWare, Inc.;

3. Специализированные:

– Neuroshell Trader – известная программа моделирования нейронных сетей для анализа рынков. Разработчик Ward Systems Group, Inc.;

– Глаз – программа используется для обработки аэрокосмической информации. Разработчик НейроКомп;

– Нейросимулятор 3.0 – предназначен для проектирования нейронных сетей, ориентированных на учебный процесс в вузах. Разработчик Ф.М. Черепанов [2012], г. Пермь.

По мнению ряда авторов, проблема интеграции нейронных сетей и ГИС может быть решена тремя способами [Замай и др., 2005; Геоинформатика, 2005; Белов Кропотов, 2007; Попков, 2013]:

– интеграция (встраивание) нейросетевых моделей в ГИС с использованием специализированных средств геоинформационной системы (программирование на встроенных языках типа MapBasic);

– развитие интерфейса между отдельными приложениями нейросетевого анализа и ГИС как самостоятельными системами (например, посредством динамического обмена данными);

– создание прикладного программного обеспечения нейросетевых систем с элементами ГИС (например, с использованием библиотек классов типа MapObjects, GeoConstructor, MapX и др.).

Из известных программных продуктов, которые уже созданы на основе нейросетей и ГИС, можно привести следующие.

Программа ScanEx-NeRIS. Разработчик ИТЦ «СканЭкс», предназначена для обработки данных дистанционного зондирования; оценка количества классов, требуемых для описания тематики и составления тематической карты; оценка внутренней дробности, неоднородности тематических объектов (контуров); оценка распределения свойств экспертных объектов в поле признаков дистанционной модели; оценка вероятностей присутствия тематических объектов, заданных экспертом в поле признаков снимка (выделение на изображении областей с различным уровнем оценки: оптимистическим, реалистическим, пессимистическим); построение иерархических классификаций с оценкой близости классов между собой (удобный для специалистов-картографов интерфейс обработки «карты расстояний» («дерева расстояний»)) с целью уточнения и корректирования строения легенды и географического содержания тематической карты; создание тематически ориентированных нейронных сетей для последующей обработки раstra с целью выявления тематических объектов; возможность совмещения разновременной информации и материалов различных съемок; автотрассировка (векторизация) результатов постобработки; поддержка системы координат наиболее распространенных отечественных и зарубежных картографических проекций; экспорт растровых покрытий и векторных слоев в обменные форматы наиболее распространенных географических информационных систем (<http://www.gisa.ru/1459.html>).

Модуль Arc-SDM для ArcView. Доступное расширение Arc-View для моделирования в ГИС на основе алгоритмов нечеткой логики и нейронных сетей. Пользователем ГИС осуществляется процесс про-

странственного моделирования с использованием этого модуля и состоит в построении нового тематического слоя на основе нескольких уже существующих. Arc-SDM использует два нейросетевых алгоритма, которые вынесены в самостоятельный программный модуль DataXplore. Первый построен на основе радиальной базисной нейронной сети, второй – на основе кластеризации в нечеткой логике. Нейронная сеть обучается с применением радиальных базисных функций, что позволяет настроить взаимосвязи между входным, скрытым, состоящим из радиальных нейронов и выходным слоем нейронов. После этого можно использовать обученную нейронную сеть для классификации данных [Замай и др., 2005].

Авторами данной работы осуществлена попытка создать систему автоматизированного картографирования сельскохозяйственных земель с помощью нейронной экспертной системы (НЭС), интегрированной с ГИС [Павлова, Каличкин, 2011, 2013]. Необходимость исследований обосновывается тем, что при картографировании различных таксономических единиц агроэкологической типизации земель (агроэкологических групп, подгрупп и т.д.) присутствует нечеткость и неопределенность информации. Выделение агроэкологических групп и подгрупп земель с помощью общепринятых количественных методов анализа представляется затруднительным, так как доступные источники информации интерпретируются в большинстве случаев качественно, неточно и неопределенно. Данная проблема может быть решена с помощью современных методов анализа данных.

Работа выполнена на примере Омской области. Первоначально разрабатывались ГИС-территории в виде совокупности взаимосогласованных и территориально привязанных карт. Основными слоями ГИС-территории служили космические снимки LANDSAT-7 ETM+, топографическая карта, почвенная карта, цифровая модель рельефа, карта глубины расчленения рельефа, карта горизонтального расчленения рельефа и другие. Топографическая карта была разработана в масштабе 1 : 100 000 ФГУП «ГОСЗЕМКАДАСТРСЪЕМКА» «ВИСХАГИ» (Западно-Сибирский филиал).

В соответствии с теорией нечетких множеств имеем: E – универсальное множество (universal), x – элементы этого множества. В качестве элементов множества выступают операционно-территориальные единицы (ОТЕ), R является некоторым свойством рассматриваемого множества. Если для обычного (четкого) множества

функция принадлежности принимает значения 0 или 1 в зависимости от того, удовлетворяет ли x выбранному свойству, то нечеткой переменной x соответствует некоторое ограничение $R(x)$, представляющее собой нечеткое подмножество A универсального множества E . Нечеткое подмножество A универсального множества E характеризуется функцией принадлежности, где $\mu_A: E \rightarrow [0, 1]$, указывающей на степень принадлежности элемента x подмножеству A . Таким образом, нечеткое подмножество A универсального множества E представляется в виде упорядоченных пар $A = \{\mu(x)/x\}$. Достоинством использования нечетких множеств является то, что для элементов x из множества E нет однозначного ответа «да или нет».

Для того чтобы результаты обученной НЭС имели пространственно-координатную привязку в ГИС, оценка осуществлялась по отношению к земельным участкам, или операционно-территориальным единицам (ОТЕ). В качестве такой ОТЕ можно использовать ландшафтные выделы, единицы административного деления, ячейки регулярной сетки. В нашем случае исследуемая территория разбивалась на сетку квадратов размером 2×2 км. В узлах регулярной сетки были записаны сведения о рельефе, почвах, глубине залегания грунтовых вод, условиях дренированности (рис. 15).

Такой подход к картографированию сельскохозяйственных земель, основанный на систематизации сведений изучаемой тер-

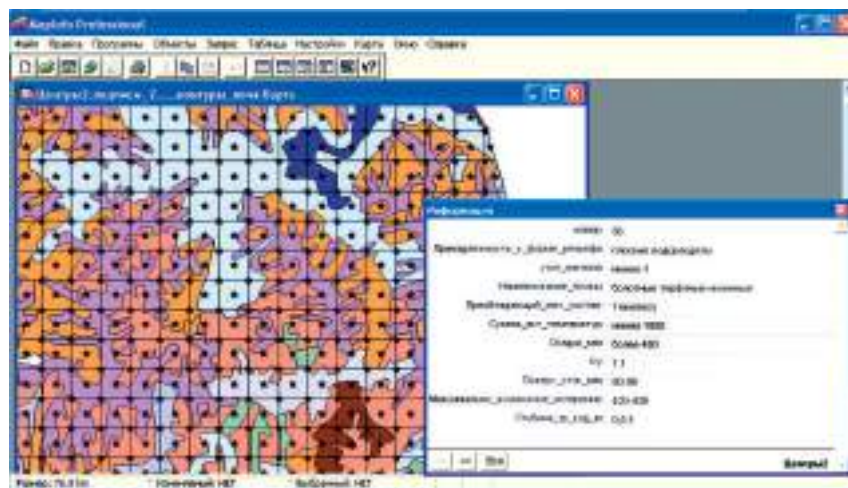


Рис. 15. Фрагмент таблицы ОТЕ

ритории в виде совокупности электронных карт и баз данных, в сравнении с вербальными методами выделения агроэкологических групп земель имеет значительные преимущества.

Во-первых, реализуется возможность визуализации различного рода данных на экране монитора в соответствии с выбранной моделью организации данных в ГИС.

Во-вторых, возникает возможность манипулирования сведениями, содержащимися во внутренних БД ГИС, т.е. построению простых запросов (вычисление площадей, периметров и т.д.), а также применение более сложных запросов за счет обращений к внешним БД ГИС.

В-третьих, пространственный аспект, реализуемый в геоинформационном картографировании, позволяет «территориально» увязывать результаты математических вычислений к операционно-территориальной единице (ландшафту, элементарному агроэкологическому ареалу, почвенному контуру и т.д.). Все это повышает объективность работ, целью которых является картографирование сельскохозяйственных земель.

Таким образом, получили X матрицу размерности $M \times N$ ($i = 1, 2, \dots, m$ – номер строки, $j = 1, 2, \dots, n$ – номер столбца):

$$X = |x_{ij}|.$$

Каждый элемент матрицы описывается вектором параметров, характеризующих элементарный участок земной поверхности (ОТЕ) по набору тематических свойств, т.е.

$$x_{ij} = (x_1^1, \dots, x_n^k),$$

где $k = 1, \dots, n$ – тематический признак.

Для обучения НЭС используется обучающая выборка, составляемая на основе базы знаний. База знаний включала основные критерии для выделения агроэкологических подгрупп земель и разрабатывалась с помощью СУБД Microsoft Access. Например, при построении базы знаний для увлажненных земель использованы следующие параметры: форма рельефа, крутизна склонов, условия дренированности территории, глубина залегания грунтовых вод, почва. Рельеф является одним из основных природных факторов, участвующих в формировании гидрологического режима территории. Поэтому использованы показатели формы рельефа и углов наклона рельефа (град.). Уровень грунтовых вод также влияет на режим увлажнения.

Обучающая выборка формировалась с соблюдением условия ее репрезентативности, таким образом, чтобы выбранные обучающие примеры соответствовали заранее известным классам, или группам земель (автоморфные, полугидроморфные, гидроморфные).

Например, к гидроморфным отнесены земли, формирующиеся в условиях избыточного увлажнения, в замкнутых западинах, на плоских заболоченных водоразделах, характеризующиеся углами наклона рельефа до 1° , плохими условиями дренированности, близким к поверхности залеганием грунтовых вод (до 1 м).

Полугидроморфные земли формируются на слабоволнистых равнинах с углами наклона до 1° , с полугидроморфными почвами, залеганием грунтовых вод от 1 до 4 м.

Полугидроморфно-автоморфные земли залегают на плоских водораздельных равнинах, в понижениях по приречным увалам с углами наклона рельефа до $1,5^\circ$, с преобладанием автоморфных почв и с участием полугидроморфных почв в количестве, допускающем использование этих земель без гидротехнических мелиораций, залеганием грунтовых вод от 4 до 6 м.

Автоморфные земли формируются на дренированных равнинах, на вершинах грив и увалов, с углами наклона рельефа до 2° с автоморфными почвами, залеганием грунтовых вод более 6 м.

По топологии разработанная НЭС является многослойной или слоистой, в которой нейроны по функциональным особенностям разделены на слои. При использовании обучающих примеров базы знаний осуществлялось последовательное адаптивное обучение нейронной сети с помощью программного пакета статистического анализа данных SPSS. При обучении НЭС применен алгоритм обратного распространения ошибки, который по существу направлен на изменение синаптических весов с целью минимизации среднеквадратического отклонения между выходом нейронной сети и ожидаемым значением. Суть алгоритма предполагает два прохода входных сигналов в нейронной сети по всем слоям сети – прямого (forwardpass) и обратного (backwardpass). Во время обратного прохода синаптические веса настраиваются в соответствии с правилом коррекции ошибок [Васильев, Тархов, 2014; Тархов, 2014; Хайкин, 2016].

Результаты обучения НЭС сохранялись и затем использовались при последовательном переобучении сети и картографировании агроэкологических групп земель. Нейронная экспертная

система выносила решение по каждому из свойств элементарного участка о принадлежности к гидроморфным, полугидроморфным, полугидроморфно-автоморфным и автоморфным землям.

Результаты обучения НЭС отражались в ГИС, для чего осуществлялась взаимосвязь при помощи разработанной программы на Visual Basic. Использование разработанной программы позволило сократить число входов НЭС за счет применения нечетких запросов к реляционным БД ГИС, а также отобразить результаты работы НЭС в виде электронной карты. Особенность нечетких запросов заключается в том, что они позволяют обращаться к БД на «естественном» языке. Итеративное картографирование сельскохозяйственных земель с помощью НЭС было выполнено на примере территории Омской области (рис. 16).

Предложенную методику можно использовать для картографирования засоленных, эрозионных и других земель. В этом случае возникает задача сбора исходных сведений, перенастройки базы знаний и настройки работы НЭС. Обученная многослойная нейронная сеть по существу является универсальной, с динамическим нелинейным преобразованием исходной нечеткой информации о земельных участках. В этом смысле НЭС должны выступать как сложные нелинейные устройства в составе автоматических систем картографирования сельскохозяйственных земель и управления нелинейно развивающимися динамическими объектами.

Использование возможностей нейросетевого анализа при автоматизированной классификации земель регионального уровня, подверженных водной эрозии, показано на примере южно-таежно-лесной подзоны Омской области [Каличкин, Павлова, 2013, 2014]. Автоматизированный способ классификации плакорных земель локального уровня с использованием процедур анализа и моделирования геоморфометрических показателей рельефа путем интеграции ГИС и НЭС также разработан нами ([Каличкин, Павлова, 2017]; см. раздел 4.1).

Исходными материалами для классификации эрозионных земель служили космические снимки LANDSAT-7 ETM+, топографическая карта М 1 : 100 000 (создана Западно-Сибирским филиалом ФГУП «Госземкадастръёмка» ВИСХАГИ), почвенная карта М 1 : 600 000, карта природно-сельскохозяйственного районирования М 1 : 400 000.

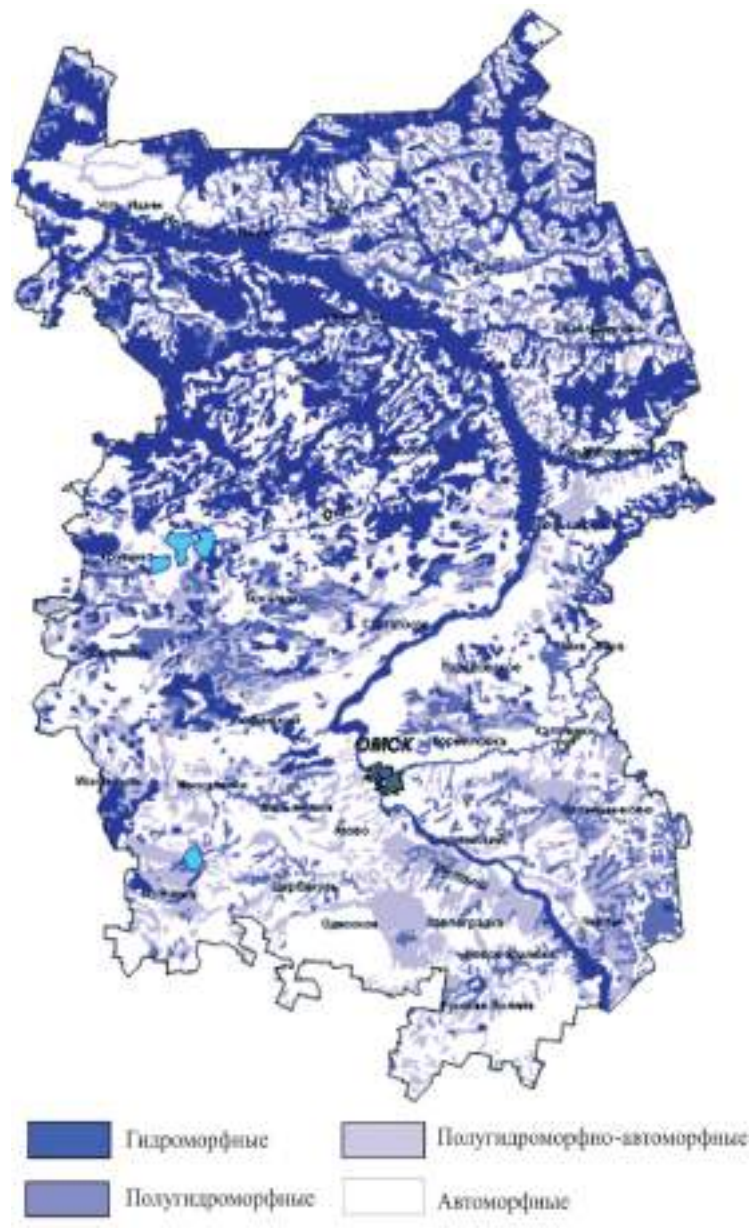


Рис. 16. Карта-схема группировки земель по гидрологическому режиму

Тематическая обработка космического снимка осуществлялась с помощью методов визуального и автоматического дешифрирования программным комплексом ENVI. Это позволило составить карту земных покровов территории и создать электронную карту ландшафтных контуров в векторном формате ГИС MapInfo [Kalichkin, Pavlova, 2011]. Кроме того, результаты распознавания снимков позволили изучить структуру ландшафтов и почвенного покрова, определить масштабы сельскохозяйственного освоения территории.

Для построения частных шкал оценок, необходимых для классификации эрозионных земель, привлекались результаты научных исследований на территории Омской области [Рейнгард, 2006, 2011].

Исходная информация об изучаемой территории, поступающая на входы НЭС, представляется в виде двумерной матрицы R размерности $n \times m$, т.е.

$$R = \{x_{ij}\} \quad (i=1, 2, \dots, n),$$

где n – число строк в БД, или число операционно-территориальных единиц (ОТЕ); $j = 1, 2, \dots, m$, где m – количество полей БД, или количество тематических свойств (K_j), используемых для классификации эрозионных земель.

При этом каждая ОТЕ описывается в виде вектора данных по набору тематических свойств объектов: $K_m = \{K_i\} = (K_1, K_2, \dots, K_7)$ и представляет упорядоченное множество атрибутивных свойств слоя ОТЕ, или множество критериев оценки состояния объекта исследования.

По каждому критерию K_j имеется шкала оценки с порогом ограничений, задаваемая экспертно, и считается определённым некоторое множество возможных оценок

$$S_j = (k_1^j, k_2^j, \dots, k_w^j),$$

где w – число градаций критерия оценки. Оценки упорядочены по убыванию характерности для свойства G .

Свойство G определяется экспертно на этапе составления частных шкал оценок (степень горизонтального расчленения территории, глубина расчленения территории овражно-балочной сетью и др.) и отвечает целевому критерию задачи классификации эрозионных земель.

Целевой критерий задачи классификации сводится к отнесению каждой ОТЕ к одному из заданных классов решений (C_1 – неэрозионные земли, C_2 – слабоэрозионные, C_3 – среднеэрозионные, C_4 – сильноэрозионные, C_5 – очень сильноэрозионные). Таким образом, задача классификации состоит в распределении n объектов из имеющихся на исходной карте ОТЕ к одному из классов решений.

При построении БЗ использовали совокупность объектов с граничными показателями при послойном наложении соответствующих карт.

По структуре разработанная НЭС реализует многослойный персептрон с двумя скрытыми слоями. В числе особенностей данной функции активации выделяют: способность усиливать слабые сигналы и предотвращать насыщение сети большими сигналами [Круглов и др., 2001; Хайкин, 2006].

Каждый вектор входных данных, используемых для обучения нейронной сети, задавался следующим образом

$$K_m = \{K_i\} = (K_1, K_2, \dots, K_7),$$

где K_i – значение показателя из набора признаков, ранжированных по порогам ограничений.

Для обучения сети использовали алгоритм обратного распространения ошибки как наиболее эффективный. Использована также непрерывная униполярная сигмоидальная функция активации следующего вида:

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-as}},$$

где a – коэффициент, характеризующий крутизну сигмоидальной функции.

В числе особенностей сигмоидальной функции активации выделяют: способность усиливать слабые сигналы и предотвращать насыщение сети большими сигналами [Хайкин, 2006].

Процесс обучения многослойного персептрона осуществляли итеративно для каждой группы эрозионных земель с помощью ПО SPSS.

Для определения степени развития эрозионных процессов и составления средне- и мелкомасштабных карт эрозионных земель большое значение имеют морфометрические показатели рельефа

[Ларионов, 1993; Танасиенко, 2003; Рейнгард, 2011]. Поэтому частные шкалы оценок сформированы в БД по следующим показателям (табл. 13).

Разработка базы знаний (БЗ) осуществлялась сбором атрибутивной информации из тематических слоев ГИС в единую БД, структура которой задавалась по критериям оценки: угол наклона рельефа (K_1), горизонтальное расчленение рельефа (K_2), глубина базиса эрозии (K_3), расчленение западными формами рельефа (K_4), длина (K_5) и экспозиция склонов (K_6), почвообразующие породы (K_7). Тематические наборы показателей описаны в таблицах частных шкал оценок с ранжированием порогов ограничений.

Данные таблицы включают знания экспертов и хранятся в БД MS ACCESS (табл. 14). В структуре БД определено поле, содержащее уникальный идентификатор ID, указывающий номер операционно-территориальной единицы (ОТЕ) при визуализации результатов классификации.

Пространственно-координатная привязка результатов обучения НЭС обычно связывается с операционно-территориальными единицами (ОТЕ), в качестве которых используют ячейки регулярной или нерегулярной сетки [Тикунов, 1997; Кирпичева, Кузнецов, 2006; Кирпичева, 2009]. В нашей работе

Таблица 13
Фрагмент частных шкал оценок по степени проявления отдельных признаков для классификации эрозионных земель

Градация по горизонтальному расчленению рельефа, км/км ²	Степень расчленения территории линейными формами рельефа	Группа земель	Градация по глубине местных базисов эрозии, м	Степень расчленения территории по базисам эрозии	Группа земель
0–0,3	Нерасчлененные	Неэрозионные	Менее 5	Нерасчлененные	Неэрозионные
0,3–0,5	Слаборасчлененные	Слабоэрозионные	5–20	Слаборасчлененные	Слабоэрозионные
0,5–1,0	Среднерасчлененные	Среднеэрозионные	20–40	Среднерасчлененные	Среднеэрозионные
1,0–1,5	Сильнорасчлененные	Сильноэрозионные	40–50	Глубокорасчлененные	Сильноэрозионные
> 1,5	Очень сильнорасчлененные	Очень сильноэрозионные	Более 50	Очень глубокорасчлененные	Очень сильноэрозионные

Таблица 14

Фрагмент базы знаний, используемой для обучения НЭС

ID	Горизонтальное расчленение (K_1), км/км ²	Порог, ограничения для K_1	Глубина базисов эрозии (K_2), м	Порог ограничения для K_2	Угол наклона рельефа (K_3), градусы	Порог, ограничения для K_3	Группа земель
4	0,67	0,3-0,5	5	5-10	0°49'	Менее 0,5	Слабоэрозионные
11	0,93	0,5-1,0	15	10-20	2°45'	1,5-3	Среднеэрозионные
43	1,82	1,5-2,0	45	20-50	4°08'	1,5-3	Сильноэрозионные
59	1,23	1,5-2,0	35	20-50	3°09'	1,5-3	»

территориальная привязка результатов обучения НЭС осуществлялась через геотопы, образующие в пространстве сеть нерегулярных контуров. При этом геотоп, согласно А.Н. Ласточкину [2002], представляет собой элементарный участок земной поверхности, обладающий в достаточной мере неизменными характеристиками (уклон, подстилающие породы, экспозиция склонов).

Для детализации генетических поверхностей и разбиения их на элементарные участки создана карта пластики рельефа путем установления точек нулевой плановой кривизны и соединения их изолинией – морфоизографой по методу И.Н. Степанова [2006].

Использование метода пластики рельефа и морфометрических карт позволило более объективно выделить структурные линии рельефа для картографирования элементарных поверхностей. Показано, что пространственная структура геотопов образует инвариант геосистемы, относительно устойчивый каркас, определяющий пространственно-временной набор процессов распределения важнейших потоков (тепла, влаги, минеральных и химических веществ). Нерегулярная сеть геотопов послужила картографической основой для классификации эрозионных земель.

В результате интеграции НЭС и ГИС получены цифровые среднемасштабные карты эрозионных земель и обобщенные нормативные показатели их морфометрических свойств, характерные для данной территории (рис. 17; табл. 15).



Рис. 17. Фрагмент цифровой карты группировки эрозионных земель южно-таежно-лесной подзоны Омской области в междуречье Иртыш – Уй (М 1 : 50 000)

Таблица 15
Границы изменений (в числителе) и средние показатели (в знаменателе) эрозионных земель по морфометрическим свойствам

Морфометрические свойства	Слабоэрозионные земли	Среднеэрозионные земли	Сильноэрозионные земли	Очень сильноэрозионные земли
Угол наклона рельефа, град.	$\frac{1^{\circ}34' - 3^{\circ}29'}{2^{\circ}35'}$	$\frac{3^{\circ}34' - 5^{\circ}55'}{4^{\circ}45'}$	$\frac{6^{\circ}00' - 7^{\circ}54'}{7^{\circ}00'}$	$\frac{8^{\circ}07' - 12^{\circ}27'}{9^{\circ}56'}$
Горизонтальное расчленение гидрографической сети, км/км ²	$\frac{0,3 - 0,6}{0,5}$	$\frac{0,6 - 0,9}{0,7}$	$\frac{1,0 - 1,2}{1,1}$	$\frac{> 1,2}{1,3}$
Глубина базисов эрозии, м	< 20	20–30	30–40	> 40
Расчленение озерно-западинными формами рельефа, шт./100 км ²	< 5	< 5	< 5	< 5

Результаты классификации эрозионных земель отражают их пространственное распространение. На изученной территории большую часть (62 % или 5343 га) занимают неэрозионные земли, расположенные на плоских водораздельных равнинах при небольших базисах эрозии – до 10 м. Слабоэрозионные земли занимают 22 % (1908 га) территории и формируются на плоских и слабоволнистых равнинах с углами наклона от 0 до 3,5° и глубиной базисов эрозии до 15 м. Среднеэрозионные земли занимают 11 % (989 га) и залегают на полого-увалистых равнинах по приречным склонам с углами наклона от 3 до 5,5°, глубиной базисов эрозии 20–30 м.

Сильноэрозионные земли составляют 3 % (256 га) от изучаемой территории и расположены на полого-увалистых равнинах по склонам рек с углами наклона от 6 до 8°, глубиной базисов эрозии 30–40 м. Очень сильноэрозионные земли встречаются на небольшой территории – 2 % (155 га) – на глубокорасчлененных равнинах с глубиной базисов эрозии более 40 м.

Информация о распространении на определенной территории процессов водной эрозии и их интенсивности может послужить базовой основой для расчетов потенциального смыва почв, а также разработки приемов защиты почв от эрозии в адаптивно-ландшафтных системах земледелия.

Процесс классификации эрозионных земель по существу является итерационным и сводится к необходимости тематической обработки космических снимков с выделением выделов (контуров) на исследуемой территории; формирования ГИС территории, путем интеграции различных материалов в виде растровых и векторных слоев; сбора и систематизации научных данных для построения частных шкал оценок степени развития эрозионных процессов; разработки картографической БД в виде слоев ГИС; интегрирования полученных знаний о территории в БЗ и выполнения вычислительных экспериментов по обучению НЭС; использования обученной НЭС для классификации эрозионных земель; оформления электронных карт эрозионных земель с соответствующими БД.

Применение в качестве ОТЕ нерегулярной сети геотопов, интеграции морфометрических характеристик и метода пластики рельефа позволило объективно установить границы между элементарными участками земной поверхности, обладающими сходными показателями по углам наклона, экспозиции склонов, подстилающим породам. Разработанный подход позволяет автоматизировать трудоемкий процесс классификации (группировки) эрозионных земель при составлении среднemasштабных карт, а также систематизировать сведения о морфометрических показателях и топологии эрозионных земель.

ГЛАВА 3

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РЕГИОНАЛЬНОГО УРОВНЯ

Современная оценка земель сельскохозяйственного назначения представляет собой анализ природных факторов и условий, к числу которых относят геоморфологические, климатические, почвенные и др. Изучение этих природных факторов и условий целесообразно осуществлять с применением современных информационных технологий и методов анализа данных, например ГИС. Использование ГИС позволяет территориально привязывать различные тематические карты в виде слоев, собирать и представлять информацию в базе данных, осуществлять моделирование объектов, имеющих различное тематическое представление.

В этой главе представлены материалы, созданные (необходимые) для региональной агроэкологической оценки земель [Агроэкологическая оценка..., 2005]. Изложенные здесь подходы к геоинформационному моделированию и анализу пространственно-распределенных данных основных природных факторов в полной мере можно использовать и при внутривозрастной оценке земель. Разница будет заключаться лишь в масштабах представления анализируемых геообъектов (средний и крупный масштабы карт) и, следовательно, в детальности получаемой информации. Исследования проведены с использованием материалов на территории Омской области, которые готовились в свое время для применения их в разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия этой территории.

3.1. Геоинформационная модель рельефа

Рельеф земной поверхности, оказывая воздействие на распределение и циркуляцию воздушных масс, а также сток и испарение с поверхности земли атмосферных осадков являются одним из ве-

дущих факторов формирования ландшафтов. От него зависят распределение и конфигурация гидрографической сети, характер почвенного и растительного покрова и другие особенности местности. Рельеф земной поверхности отражает геологическую структуру территории и ее палеогеографическую историю. Особое значение имеет рельеф местности при сельскохозяйственном освоении территории. Изучение структурно-геоморфологических особенностей рельефа является неотъемлемой частью региональных исследований по агроэкологической оценке земель.

При существующем многообразии способов отображения рельефа к составлению его электронных карт предъявляются определенные требования: метричность изображения, пластичность и морфологическое соответствие изображения. Соблюдение этих требований позволяет исследователям разных областей знания изучать особенности рельефа с разных позиций. Метричность изображения обеспечивает возможность получения по карте абсолютных высот и превышений, характеристик углов наклона, глубины расчленения и др. Соблюдение другого условия – пластичности, или наглядности изображения, обеспечивает передачу неровностей земной поверхности в виде законченного зрительного образа. Соблюдение морфологического соответствия при составлении карт рельефа дает возможность выделить типологические особенности форм рельефа.

Изучение особенностей рельефа и его характеристик в ГИС связано с цифровым моделированием рельефа – одной из важнейших моделирующих функций географических информационных систем. В современном понимании цифровая модель рельефа (ЦМР) выступает как средство цифрового представления трехмерных пространственных объектов (поверхностей, рельефов) в виде трехмерных данных, образующих множество высотных отметок (отметок глубин), иных значений аппликат (координаты Z), в узлах регулярной сети с образованием матрицы высот, нерегулярной треугольной сети (TIN), как совокупность записей горизонталей (изогипс, изобат) или иных значений [Геоинформатика..., 1999]. Цифровая модель любого геометрического (географического) объекта выступает как определенная форма представления исходных данных и способ их структурного описания, позволяющий вычислять (восстанавливать) объект путем интерполяции, аппроксимации или экстраполяции [Новиковский и др., 2003; Хромых, Хромых, 2007].

При построении ЦМР, кроме отметок высот, используются и другие характеристики из разнообразных источников данных, что приводит к многообразию технологий формирования ЦМР. Множественность источников исходных данных о рельефе вызвана, в свою очередь, многообразием способов получения и организации первичных измерительных сведений. Среди основных источников формирования ЦМР в настоящее время выделяются топографические карты, аэрофотоснимки, космические снимки, данные геодезических измерений на местности, воздушное лазерное сканирование. В то же время топографические карты и планы по-прежнему остаются основным источником данных в реализации процедур цифрового моделирования.

В нашем случае в качестве основы моделирования рельефа выступала цифровая топографическая карта М 1 : 100 000, представленная в формате обмена географических данных mid/mif. (разработана Западно-Сибирским филиалом ФГУП «Госземкадастрсъемка», Омск). На ЦМР отражены горизонталы (основные и вспомогательные), высотные отметки, а также другие картографические элементы, используемые для отображения особенностей рельефа местности. Горизонталы, как одна из основных составляющих ЦМР, обладают высокой метричностью. Не менее важную информацию о характере рельефообразования, морфологических особенностях рельефа можно извлечь с синтезированных космических снимков.

На основе ЦМР созданы серии тематических карт важнейших морфометрических показателей рельефа. В решении задач, связанных с агроэкологической оценкой земель, морфометрические карты необходимы для выявления взаимосвязи рельефа с другими компонентами ландшафта.

В литературе освещены различные способы построения морфометрических карт рельефа, разработанные Е.М. Николаевской [1970], Ю.Г. Симоновым [1972, 1998], А.К. Монаховым [1975], А.Г. Гриценко [1978; 1978а,б], Р.Х. Пириевым [1986], Ю.О. Антипцевой, Ж.А. Думит [2009] и др.

Карты вертикального расчленения рельефа имеют различные названия, например «карта относительных высот», «карта глубины расчленения рельефа», «карта глубины местных базисов эрозии». При вычислении показателя вертикального расчленения рельефа используют разные подходы. Например, согласно Методическим

указаниям по агроэкологической оценке земель вертикальное расчленение территории характеризуется глубиной расчленения рельефа и определяется как превышение водоразделов над базисами эрозии внутри элементарных бассейнов [Агроэкологическая оценка..., 2005]. Исходя из этого следует, что вертикальное расчленение представляет собой разность между наибольшей и наименьшей абсолютными отметками в пределах элементарного бассейна (бассейн водосбора с постоянным или временным водотоком или бассейн отдельного озера).

Другой способ определения вертикального расчленения рельефа предложен А.Г. Гриценко [1978] и Р.Х. Пириевым [1986]. Для построения карты вертикального расчленения рельефа используется сетка квадратов, на которую разбивается исследуемая территория. В пределах каждого квадрата определяется значение местного базиса эрозии как превышение отметок между наибольшей и наименьшей точкой того же водораздела. При таком подходе значение вертикального расчленения рельефа определяется не по элементарным бассейнам, имеющим разные площади, а по сетке квадратов одинаковой площади. Данный способ позволяет отразить характер пространственного распределения глубины расчленения рельефа на всей изучаемой территории.

В ГИС процесс построения карты вертикального расчленения рельефа и других карт, производных от ЦМР, реализуется путем использования двух наиболее распространенных поверхностей (полей): модель типа растра (растровое представление) и модель типа треугольной нерегулярной сети, известной под аббревиатурой TIN (Triangulated Irregular Network).

Первому представлению соответствует модель пространственных данных, в которой разбиение пространства производится на пиксели в качестве наименьших неделимых элементов. Применительно к ЦМР это соответствует регулярной матрице (квадратной или прямоугольной) с определением ее в узлах высот. К настоящему времени регулярная квадратная сеть высотных отметок наиболее распространена и используется в национальных картографических службах США, Англии, Австралии и др. [Кошкарев, 2004]. Растровая форма организации данных является наиболее удобной для дальнейшей компьютерной обработки и отображения данных. Именно в таком типе организации исходных данных ЦМР реали-

зуются многочисленные алгоритмы интерполяции, аппроксимации, сглаживания и др.

Основное содержание моделей типа TIN в пространственной форме составляет нерегулярная сеть в виде треугольников с элементами триангуляции Делоне. Суть представления данных для ЦМР в этом случае состоит в отображении высотных отметок как многогранной поверхности с пиками, впадинами и перевалами, хребтами и долинами [Мусин, 1998; 1999а,б]. Такая модель не требует большого объема данных, но ее использование на основе оцифрованных горизонталей имеет определенные недостатки. К числу таких недостатков относится «эффект террас», проявляющийся в создании плоских участков, не существующих в действительности. Это снижает точность и качество морфометрических карт рельефа.

Для построения морфометрических карт были использованы функционально обособленные модули Vertical Mapper (модуль ГИС MapInfo), Spatial Analysis (ГИС ArcView) и авторская программа Morfometria [А.И. Павлова, В.К. Каличкин].

При создании карты вертикального расчленения рельефа использовалась растровая модель организации данных. В целом построение карты основывалось на получении высотных отметок точек в узлах регулярной сетки квадратов. Точность построения карты вертикального расчленения зависит от шага сетки, который был равен 10 км в соответствии с исходным масштабом ЦМР (М 1 : 100 000).

В основе методики составления карты использован признак, характеризующий рельеф равнин по глубине местных базисов эрозии [Подобедов, 1974]. Согласно этой методике выделяются следующие степени глубины расчленения рельефа: нерасчлененные (с глубиной базисов эрозии менее 5 м), слаборасчлененные (от 5 до 20), среднерасчлененные (от 20 до 40), глубокорасчлененные (от 40 до 50) и очень глубокорасчлененные (более 50 м).

В результате применения процедур интерполяции на карте вертикального расчленения проведены изолинии базисов эрозии (рис. 18).

Атрибутивная информация БД карты вертикального расчленения рельефа содержит сведения о площади, глубине местных базисов эрозии и степени вертикального расчленения рельефа (рис. 19).

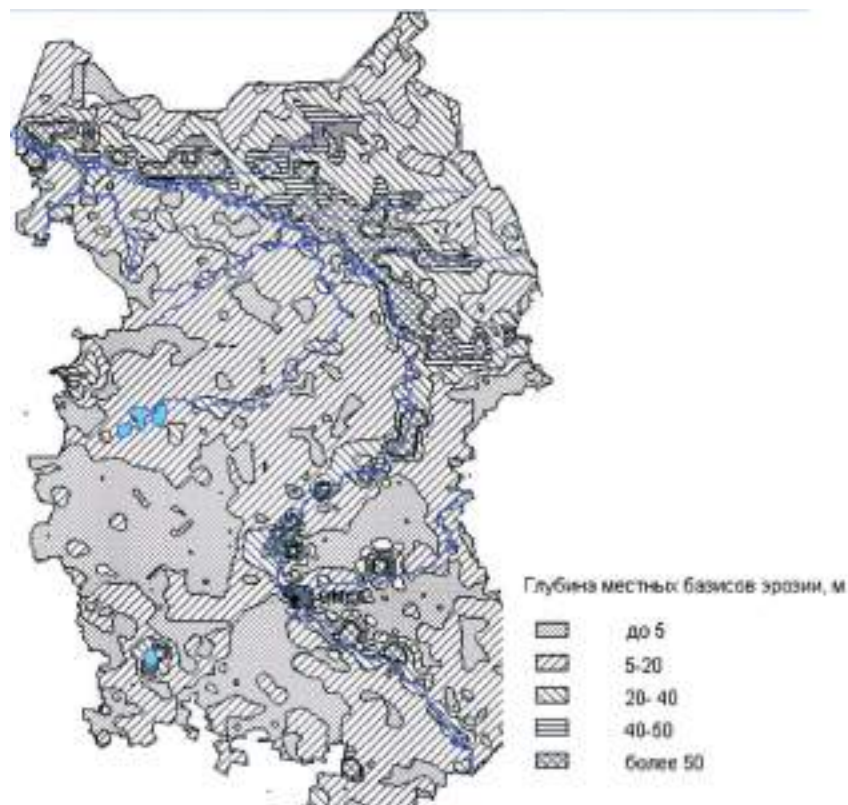


Рис. 18. Карта вертикального расчленения рельефа

Анализ карты вертикального расчленения рельефа позволил сделать заключение о том, что в пределах Омской области наибольшее распространение имеют слаборасчлененные равнины. Встречаются также среднерасчлененные, глубокорасчлененные и очень глубокорасчлененные.

Большая часть территории Омской области (48,3 % от площади области) характеризуется слабым расчленением рельефа, глубина местных базисов эрозии от 5 до 20 м (табл. 16). Глубокое расчленение рельефа отмечается на 5,2 % территории и очень глубокое – на 4,5 %. Сюда относятся участки бессточной котловины оз. Эбейты (более 50 м) и Прииртышского увала (до 80 м).

глубина_эрозии_метров	площадь_га	пл_базиса_эрозии_м	степень_расчленения
40	128.482	40-50	глубоко-расчлененные
40	2 582.93	40-50	глубоко-расчлененные
20	1 798.9	20-40	средне-расчлененные
20	8 042.77	20-40	средне-расчлененные
20	898.883	20-40	средне-расчлененные
20	492.913	20-40	средне-расчлененные
5	845.316	5-20	слабо-расчлененные
5	1 082.82	5-20	слабо-расчлененные
5	27.8182	5-20	слабо-расчлененные
5	8 289.83	до 5	нерасчлененные
5	8 861.78	до 5	нерасчлененные
5	181.47	до 5	нерасчлененные
5	2 988.23	до 5	нерасчлененные
5	2 682.89	до 5	нерасчлененные
5	44 388.31	до 5	нерасчлененные
50	838.988	более 50	очень-глубоко-расчлененные
40	529.82	40-50	глубоко-расчлененные
50	149.282	более 50	очень-глубоко-расчлененные
50	431.513	более 50	очень-глубоко-расчлененные
50	272.884	более 50	очень-глубоко-расчлененные
50	42 940.37	более 50	очень-глубоко-расчлененные
50	26 388.34	более 50	очень-глубоко-расчлененные
50	14 720.17	более 50	очень-глубоко-расчлененные
50	12 288.41	более 50	очень-глубоко-расчлененные
50	12 032.81	более 50	очень-глубоко-расчлененные
50	8 621.88	более 50	очень-глубоко-расчлененные
50	4 144.72	более 50	очень-глубоко-расчлененные
50	2 789.81	более 50	очень-глубоко-расчлененные
50	2 625.83	более 50	очень-глубоко-расчлененные
40	8 042.82	40-50	глубоко-расчлененные
40	12 316.12	40-50	глубоко-расчлененные
40	8 988.18	40-50	глубоко-расчлененные

Рис. 19. Фрагмент атрибутивной БД карты вертикального расчленения рельефа

Таблица 16
Характеристика территории Омской области по вертикальному расчленению рельефа (местные базы эрозии)

Глубина местных базисов эрозии, м	Площадь		Степень глубины расчленения рельефа
	тыс. га	% от общей площади	
До 5	3520,9	25,0	Нерасчлененные
5–20	6814,4	48,3	Слаборасчлененные
20–40	2391,9	17,0	Средне-расчлененные
40–50	729,8	5,2	Глубоко-расчлененные
> 50	653,0	4,5	Очень-глубоко-расчлененные

Горизонтальное расчленение – это характерное расстояние между расчленяющими линиями, например, между постоянными и временными водотоками. Для характеристики горизонтального расчленения часто используют густоту расчленяющих линий, т.е. отношение их суммарной длины к площади. Характерное расстояние между расчленяющими линиями является величиной, обратной их густоте. Например, при густоте водотоков, равной $0,56 \text{ км/км}^2$, среднее расстояние между водотоками $1000/0,56 = 1786 \text{ м}$, ширина водосбора, примыкающего к водотоку с одной стороны, 893 м .

При формировании карты горизонтального расчленения рельефа использовали показатель густоты расчленения. Густота, или интенсивность горизонтального расчленения рельефа, зависит от степени развития эрозионной сети [Спиридонов, 1985]. Морфометрические карты горизонтального расчленения рельефа имеют названия «густота расчленения рельефа» [Гриценко, 1978], «горизонтальное расчленение рельефа» [Спиридонов, 1985], «густота расчленения гидрографической сетью» [Пириев, 1986].

Показатель густоты расчленения рельефа определяется несколькими способами. Так, А.К. Монахов [1975] предлагает определять его количеством эрозионных форм на единицу площади. В.А. Червяков и О.А. Киселева [1976] для прогнозирования процессов оврагообразования использовали палетку в виде круга с сеткой квадратов. Показатель густоты эрозионной сети определялся ими числом пересечений вертикальных и горизонтальных линий сетки с тальвегами эрозионных форм. В другом наиболее распространенном способе [Пириев, 1986; Гриценко, 1978] показатель густоты расчленения рельефа определяется в виде отношения суммарной протяженности всех расчленяющих линий (постоянных и временных водотоков) к площади квадрата сетки. Способ позволяет применять процедуры интерполяции и получать результаты на всю исследуемую территорию. Для составления электронной карты горизонтального расчленения рельефа применен именно этот способ.

Первоначально изолинии коэффициента горизонтального расчленения проведены с интервалом через $0,1 \text{ км/км}^2$, в последующем для обобщения полученных результатов использована методика составления карты горизонтального расчленения рельефа для равнинных территорий [Подобедов, 1974; Рейнгард, 1987]. Согласно этой методике выделяются следующие степени расчленения

рельефа линейными формами: слабая – коэффициент горизонтального расчленения менее 0,5 км/км², средняя – от 0,5 до 1,0, сильная – от 1,0 до 1,5 и очень сильная – более 1,5 км/км² (рис. 20).

Атрибутивная информация карты горизонтального расчленения рельефа содержит сведения о площади, коэффициенте горизонтального расчленения рельефа и степени его расчленения линейными формами (рис. 21).

Анализ карты горизонтального расчленения рельефа позволяет сделать вывод о том, что большая часть территории области (85,4 %) характеризуется слабой расчлененностью (до 0,5 км/км², табл. 17), незначительная часть территории области имеет сильное (1,2 %) и очень сильное расчленение (до 0,1 %).

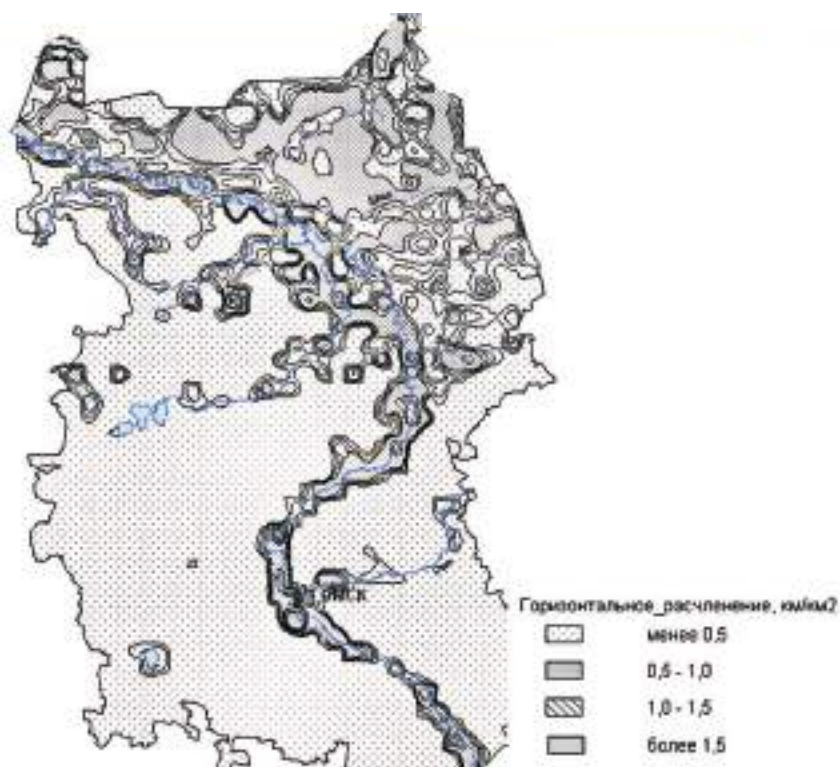


Рис. 20. Карта горизонтального расчленения рельефа

Горизонтальное расчленение				
нижняя граница	верхняя граница	Площадь, га	Гориз. расчленение	Степень расчленения
0.0	0.9	8 605.35	от 0.5 до 1.0	средняя
0.0	0.9	2 130.49	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	10 479.95	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	3 245.68	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	20 489.06	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	12 995.54	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	11 380.85	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	4 554.98	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	13 082.68	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	8 647.72	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	5 962.31	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	5 047.86	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	9 250.34	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	8 572.82	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	8 314.67	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	8 152.55	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	8 436.35	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	3 140.02	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	8 323.54	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	5 063.83	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	4 915.77	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	4 867.95	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	4 274.49	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	4 137.62	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	2 699.73	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	872.329	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	50 891.9	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	44 471.1	от 0.5 до 1.0	средняя
0.7	0.8	35 500.6	от 0.5 до 1.0	средняя
0.6	0.7	18 439.95	от 0.5 до 1.0	средняя
0.6	0.7	7 990.87	от 0.5 до 1.0	средняя

Рис. 21. Фрагмент атрибутивной БД карты горизонтального расчленения рельефа

Таблица 17

Характеристика территории Омской области по горизонтальному расчленению рельефа

Коэффициент горизонтального расчленения, км/км ²	Площадь		Степень расчленения территории линейными формами
	тыс. га	% от общей площади	
До 0,5	12038,4	85,4	Слабая
0,5–1,0	1878,1	13,3	Средняя
1,0–1,5	172,9	1,2	Сильная
> 1,5	20,6	0,1	Очень сильная

С юга на север области коэффициент горизонтального расчленения рельефа увеличивается. На юге области рельеф слабо- и плосковолнистый, речная сеть не развита. Поэтому расчленение территории линейными формами характеризуется как слабое, а коэффициент горизонтального расчленения составляет $0,2 \text{ км/км}^2$.

Водораздельные равнины Омь-Иртышского междуречья также слабо расчленены линейными формами, коэффициент горизонтального расчленения $0,2 \text{ км/км}^2$. В долине р. Омь коэффициент возрастет до $0,6 \text{ км/км}^2$. Также слабо расчленены водораздельные пространства в междуречьях рек Ишим, Большой Аев, Оша, Иртыш. В долинах этих рек в результате действия водотоков горизонтальное расчленение рельефа характеризуется как среднее и сильное. В долине р. Ишим коэффициент горизонтального расчленения колеблется от $0,2$ до $0,6 \text{ км/км}^2$, р. Большой Аев – от $0,2$ до $0,8$, иногда более $1,2 \text{ км/км}^2$. В долине р. Оша расчленение линейными формами рельефа характеризуется как слабое и среднее с коэффициентом горизонтального расчленения до $0,8 \text{ км/км}^2$.

На севере области в районах Васюганского плато и возвышенности Тобольский материк гидрографическая сеть хорошо развита. Показатель густоты расчленения рельефа увеличивается до $1,2 \text{ км/км}^2$.

Под очень сильно расчлененными территориями (коэффициент горизонтального расчленения более $1,5 \text{ км/км}^2$) находится незначительная часть, примерно $0,1 \%$ площади, Омской области (Прииртышский увал).

Наряду с морфометрическими показателями такими, как вертикальное и горизонтальное расчленение рельефа, большое значение имеет информация о расчленении рельефа озерно-западинными формами. Она необходима в тех случаях, когда на исследуемой территории гидрографическая сеть слабо развита или отсутствует, что характерно для лесостепной и степной зон Омской области.

В качестве показателя расчленения рельефа озерно-западинными формами принято число озерных западин, встречающихся в пределах квадрата площадью 100 км^2 (рис. 22).

Атрибутивная информация БД карты расчленения рельефа озерно-западинными формами включает сведения о значении показателя расчленения (число западин на 100 км^2), площади и степени расчленения рельефа (рис. 23).

Выявлено, что сильно расчленены заболоченные водоразделы Тобольского материка и Васюганского плато (более 20 западин на

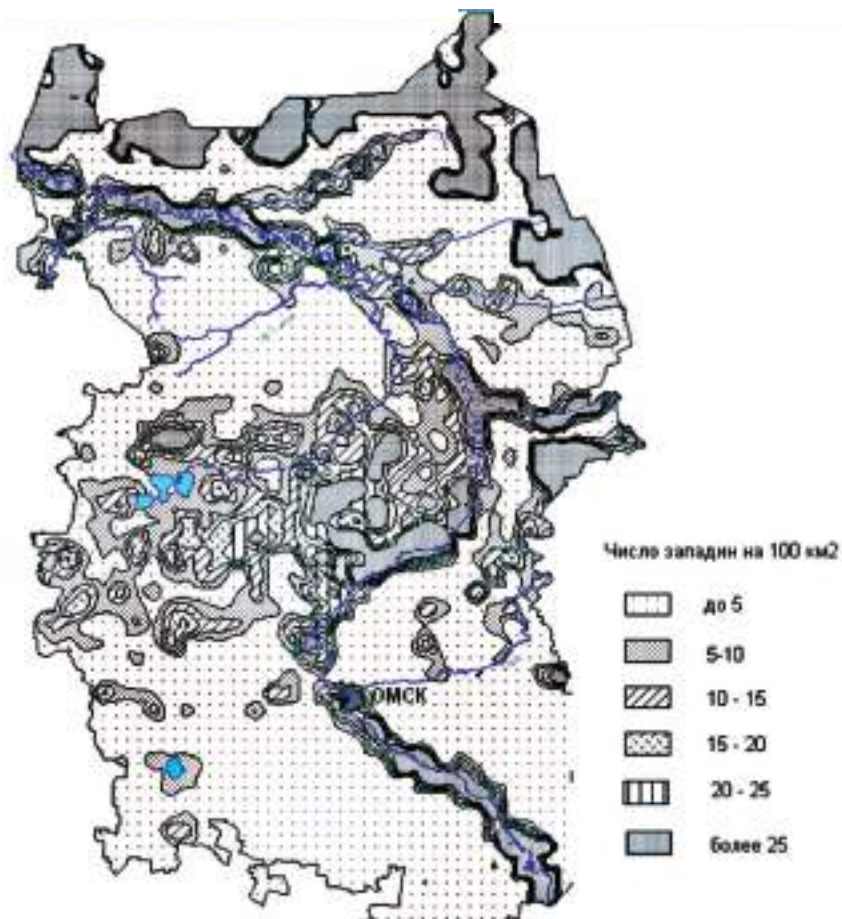


Рис. 22. Карта расчленения озерно-западинными формами рельефа

100 км²). Здесь в условиях избыточного увлажнения сформировалась сеть озер разнообразных форм и площадей. Сильным расчленением рельефа озерно-западинными формами различаются также пойменные участки р. Иртыш, в межривных понижениях которой залегают озера. На слабоволнистых равнинах лесостепи число озерно-западинных форм рельефа колеблется от 5 до 20 на 100 км². В степи западины встречаются редко, поэтому расчленение характеризуется как слабое – до 5 западин на 100 км².

Расчленение озерно-запад. формы. Спирит					
	нижняя граница	верхняя граница	Площадь га	Расчленение озерно-запад. форм	Степень расчленения
<input type="checkbox"/>	10	15	150.81	15-20	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	40 023.04	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	53 203.05	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	30 677.95	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	31 943.32	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	20 324.39	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	10 384.05	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	8 964.77	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	19 872.29	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	13 959.27	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	5 679.54	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	8 666.81	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	8 679.80	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	8 173.23	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	7 620.36	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	7 353.83	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	8 322.35	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	6 187.54	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	4 854.35	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	4 577.88	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	2 830.12	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	3 695.27	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	3 166.79	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	1 577.12	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	1 492.36	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	738.70	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	1 239.18	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	984.49	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	376.79	5-10	средняя
<input type="checkbox"/>	5	10	154.13	5-10	средняя

Рис. 23. Фрагмент атрибутивной БД карты расчленения рельефа озерно-западинными формами

Морфометрические карты использованы в процессе геоморфологического районирования территории. Они необходимы для выявления структурно-геоморфологических особенностей рельефа.

Морфологический анализ рельефа состоял в сравнительном изучении его внешнего облика, характеризуемого морфографическими и морфометрическими характеристиками. Получение этих характеристик связано с необходимостью не только геоморфологического районирования территории, но и с картографированием эрозионноопасных земель. Существующие многочисленные модели эрозионной опасности земель включают морфометрические характеристики рельефа.

Формы рельефа как отдельные неровности земной поверхности различаются размерами, которые определяются относительной высотой (или глубиной) и величиной занимаемой ими площади. В связи с этим важным вопросом при картографировании форм рельефа является выбор масштаба топографической карты. Выполненный анализ показал, что масштабы крупнее 1 : 10 000 используются в основном для картографирования микроформ, масштабы 1 : 10 000– 1 : 100 000 оптимальны для отражения мезоформ рельефа, диапазон масштабов 1 : 200 000 – 1 : 500 000 используется для отражения на картах типов рельефа и макроформ. Поэтому использование топографической карты масштаба 1 : 100 000 и применение метода поконтурного изображения рельефа [Спиридонов, 1985; Беручашвили, Жукова, 1997] дало возможность выявить и изучить мезорельеф и его типы. Создана трехмерная цифровая модель рельефа, а также карта экспозиции склонов. Синтезированное картографирование форм рельефа осуществлялось с привлечением космических снимков, двумерной и трехмерной ЦМР. В атрибутивной БД для описания форм мезорельефа в качестве наиболее значимых характеристик использованы форма рельефа, форма поверхности, угол наклона рельефа, экспозиция склонов (в азимутах и румбах), тип экспозиции (рис. 24).

ID	Наименование	тип_поверхности	площадь_поверхности	угол_наклона	тип_экспозиции
0	карстовый кратон	0.00711	карстовый кратон	0	0
1	карстовый кратон	1.7882	карстовый кратон	18	18
2	карстовый кратон	0.70719	карстовый кратон	0	0
3	карстовый кратон	1.0004	карстовый кратон	24	24
4	карстовый кратон	1.4214	карстовый кратон	24	24
5	карстовый кратон	0.67264	карстовый кратон	0	0
6	карстовый кратон	0.7726	карстовый кратон	0	0
7	карстовый кратон	1.881	карстовый кратон	18	18
8	карстовый кратон	2.4887	карстовый кратон	18	18
9	карстовый кратон	4.1192	карстовый кратон	18	18
10	карстовый кратон	3.7891	карстовый кратон	18	18
11	карстовый кратон	1.0113	карстовый кратон	18	18
12	карстовый кратон	1.0425	карстовый кратон	18	18
13	карстовый кратон	1.6847	карстовый кратон	18	18
14	карстовый кратон	1.0107	карстовый кратон	18	18
15	карстовый кратон	1.8819	карстовый кратон	18	18
16	карстовый кратон	1.0113	карстовый кратон	18	18
17	карстовый кратон	1.0113	карстовый кратон	18	18
18	карстовый кратон	1.0113	карстовый кратон	18	18
19	карстовый кратон	1.0113	карстовый кратон	18	18
20	карстовый кратон	1.0113	карстовый кратон	18	18
21	карстовый кратон	1.0113	карстовый кратон	18	18
22	карстовый кратон	1.0113	карстовый кратон	18	18
23	карстовый кратон	1.0113	карстовый кратон	18	18
24	карстовый кратон	1.0113	карстовый кратон	18	18
25	карстовый кратон	1.0113	карстовый кратон	18	18
26	карстовый кратон	1.0113	карстовый кратон	18	18

Рис. 24. Фрагмент атрибутивной БД карты форм рельефа

Ориентированность склона по сторонам света и его крутизна определяют степень развития эрозии. Под экспозицией склонов понимали его солярную экспозицию, т.е. ориентированность по отношению к сторонам света, определяемую азимутом линии падения склона (от 0 до 360°). Часто экспозицию склонов определяют по названиям румбов, например «северо-восточная», «северная», «южная» (СВ, С, Ю). Поэтому при составлении БД были использованы две характеристики экспозиции склонов – значение азимута и название румба.

В зависимости от солярной экспозиции применена следующая шкала: холодные (значение азимута от 315 до 45°), умеренно холодные (от 45 до 90° и от 270 до 315°), умеренно теплые (от 90 до 135° и от 225 до 270°) и теплые (от 135 до 225°).

Геоморфологическое районирование. Анализ схем геоморфологического районирования Западно-Сибирской равнины, в том числе территории Омской области, составленный Г.Д. Рихтером [1963], В.А. Николаевым [1970], М.Е. Городецкой, Г.И. Лузуковым [1975], А.А. Земцовым [1976], Л.К. Зятьковой [1979], Ю.И. Винокуровым и др. [2005], показал, что при составлении среднemasштабных цифровых карт возникают трудности в использовании этих схем. Существуют разночтения в названиях и характеристиках геоморфологических областей и районов, а также в положении их границ.

Все исследователи в качестве наиболее крупной таксономической единицы районирования признают Западно-Сибирскую равнину. Однако последующее деление на более мелкие единицы – области, подобласти и районы, различными исследователями выполнено по-разному. Так, на карте геоморфологического районирования Западно-Сибирской равнины [Геоморфология..., 1969] Омская область делится на четыре геоморфологические области: Васюганскую, Кулундинско-Барабинскую, Средне-Обскую и Зауральско-Северо-Казахстанскую, в схеме, составленной М.Е. Городецкой и Г.И. Лузуковым [1975], – на три области. При этом Чановско-Славгородский геоморфологический район, выделенный на карте [Геоморфология..., 1969], отнесен М.Е. Городецкой и Г.И. Лузуковым к подобласти – Барабинская дельто-аллювиальная пологоволнистая с участками эрозионного расчленения низменная равнина. В схеме геоморфологического районирования, составленной Ю.И. Винокуровым и др. [2005], геоморфологиче-

ским областям соответствуют возвышенности, плато, низменности, равнины и нагорья, которые авторы относят к макроморфоструктурам III порядка. Выделенные в отдельные геоморфологические области – возвышенность Тобольский материк и Васюганская равнина, на карте отнесены к Васюганской геоморфологической области [Геоморфология..., 1969]. Кулундинско-Барабинская область разделена Ю.И. Винокуровым и др. [2005] на три геоморфологические области – Барабинскую, Северо-Барабинскую и Кулундинскую. Северо-Казахстанская наклонная равнина отнесена Ю.И. Винокуровым и др. [2005] к геоморфологической области, Г.М. Городецкой и Г.И. Лузуковым [1975] – к подобласти, на карте [Геоморфология..., 1969] – к геоморфологическому району.

Понятие «морфоструктуры» ввел И.П. Герасимов [1959]. К категории морфоструктуры он относил крупные элементы рельефа, которые возникают в результате исторически развивающегося взаимодействия эндогенных и экзогенных сил при ведущей, активной роли эндогенного фактора – тектонических движений. И.П. Герасимов ввел также принципиальную схему классификации рельефа. Ю.А. Мещеряков [1965], подчеркивая необходимость детализации схемы для геоморфологических исследований, выделил группы элементов геотекстуры и морфоструктуры. При этом возвышенности и низменности равнинных областей он относил к морфоструктурам первого порядка.

Наиболее полной и отвечающей задачам составления геоморфологических карт средних масштабов, по нашему мнению, можно считать классификацию категорий рельефа, составленную С.Г. Боч и И.И. Красновым [1958]. Авторы выделяли II категорий рельефа. При этом ими выполнено сопоставление таксономических категорий геоморфологического районирования и морфогенетических категорий рельефа. Геоморфологическим провинциям соответствуют мегаморфоструктуры, подпровинциям – морфоструктуры, геоморфологическим областям – комплексы типов рельефа, а геоморфологическим районам – типы рельефа.

В настоящее время для выявления структурно-геоморфологических особенностей рельефа широко используется морфологический метод, включающий морфометрические построения, анализ топографической основы и дешифрирование космических снимков [Николаевская, 1976; Кузьмин и др., 2007; Павлова, 2013; Канатьева и др., 2013]. Применение методов геоинформационного

моделирования позволяет определять количественные показатели рельефа достаточно быстро и относительно легко при обеспечении необходимой точности и объективности пространственного анализа [Флоринский и др., 2009].

При геоморфологическом районировании Омской области использованы цифровая топографическая карта, ЦМР, космические снимки ИСЗ LANDSAT-7 ETM⁺. Границы районов выделены путем применения интегрированной технологии с использованием космических снимков и ЦМР. ЦМР для удобства работы была экспортирована в ENVI (программное обеспечение по распознаванию спектральных образов) и наложена на космические снимки. С помощью такой технологии осуществлялось одновременное дешифрирование космических снимков и анализ рисунка рельефа по горизонталям.

Цифровые карты представлены в базовом масштабе 1 : 100 000 в виде информационных слоев ГИС MapInfo и содержат сведения о топографических объектах (растительность, дороги, населенные пункты, гидрография, болота и др.) и ЦМР. Основными методами исследований служили визуальный и ландшафтно-индикационный методы дешифрирования космических снимков, морфологический, картографический, геоинформационного моделирования.

Визуальный и ландшафтно-индикационный методы использованы для выявления характера рисунка рельефа, изучения морфо-структурных элементов рельефа на космических снимках. Рисунок изображения рельефа, его индикационная роль при комплексных физико-географических исследованиях отмечен А.А. Григорьевым [1975]. Позднее А.С. Викторов [1986] выделил основные типы рисунков ландшафта и связь их с экзогенными процессами рельефообразования.

Морфологический метод использован с целью выявления внешних признаков элементов рельефа, установления их количественных и качественных характеристик, пространственного расположения и их морфометрии.

Основным критерием выделения геоморфологических районов являлся морфогенетический тип рельефа, который объединяет участки земной поверхности, характеризующиеся общностью типологических черт облика рельефа, одинаковой литолого-структурной обстановкой и историей развития.

Тип рельефа также служил основанием при геоморфологическом картографировании границ районов. Для этого применялись технологии дешифрирования космических снимков и ГИС-технологии. Общая схема выделения границ районов состояла в следующем: 1) выделение по космическим снимкам морфоструктур (возвышенности, равнины, низменности); 2) выделение в пределах морфоструктур типов рельефа путем наложения на космические снимки цифровой топографической карты; 3) вычисление уклонов; 4) определение ориентировки форм земной поверхности; 5) дешифрирование поймы р. Иртыш и наиболее крупных ее притоков – Уй, Туй и Шиш, Аев; 6) морфометрический анализ рельефа и уточнение границ геоморфологических районов.

Космические снимки применялись в качестве растровой подложки в ГИС. На снимках благодаря обзору больших территорий дешифрируются крупные черты геоморфологического и ландшафтного строения, которые дополняют друг друга. Окончательное выделение геоморфологических районов производилось при сопряженном анализе топографической основы и морфометрических показателей [Спиридонов, 1985].

Для морфометрического анализа рельефа и построения морфометрических карт уклонов, вертикального расчленения территории использованы методы геоинформационного моделирования [Цветков, 1998].

Вычисленные параметры морфометрии рельефа (максимальные и минимальные высоты, вертикальное расчленение, густота расчленения рельефа, расчленение озерно-западинными формами рельефа) записывались в семантическую базу данных геоморфологической карты. В качестве показателя густоты расчленения рельефа (горизонтального расчленения) использовано отношение суммарной длины всех водотоков, вычисленных в пределах геоморфологического района к его площади. Для характеристики территории с развитыми озерно-западинными формами использован показатель частоты и плотности расчленения на 100 км².

Анализ уклонов и построения карты густоты расчленения рельефа осуществляли с помощью ГИС ArcView и специализированных модулей – Spatial Analyst, 3D Analyst. Использование модулей позволило создать трехмерную модель рельефа, которая различается от двухмерного изображения рельефа наглядностью восприятия.

Основываясь на литературные источники [Рихтер, 1963; Геоморфология..., 1969; Николаев, 1970, 1982; Городецкая, Лазуков, 1975; Прудникова, Рейнгард, 1975; Земцов, 1976; Зяткова, 1979; Рельеф..., 1988; Винокуров и др., 2005; Бронгулев и др., 2006], а также для сохранения преемственности в названиях на территории Омской области, уточнены границы четырех геоморфологических областей – Васюганская, Среднеобская, Кулундинско-Барабинская и Зауральско-Северо-Казахстанская.

При выделении геоморфологических областей учитывались морфоструктурные особенности рельефа, которые дешифрируются на спектральных космических снимках.

Васюганская область представляет собой возвышенную аккумулятивную слаборасчлененную линейной эрозией равнину. Область включает возвышенность Тобольский материк, возникший на свободном поднятии.

Средне-Обская область представляет собой равнину развития денудационно-аккумулятивных и эрозионно-аккумулятивных речных террас. Область включает вторую, третью и четвертую надпойменные террасы р. Иртыш. В рельефе области преобладают плоские заболоченные и аккумулятивные формы рельефа, между речных пространств рек Ишим, Иртыш и Тобол. Равнина сложена легкими и средними суглинками с преобладающими отметками от 60 до 107 м. Местами область осложнена гривами.

Кулундинско-Барабинская область характеризуется процессами озерной и речной аккумуляции. В рельефе области выражен гривный рельеф эрозионно-денудационного происхождения, а также широкое распространение озерных впадин.

Зауральско-Северо-Казахстанская геоморфологическая область представляет собой широковолнистую равнину с небольшим уклоном поверхности к долине р. Иртыш. Рельеф несколько осложняется в районе Камышловского лога и оз. Эбейты. В окрестностях оз. Эбейты, залегающего в глубокой озерной бессточной котловине, вертикальное расчленение рельефа достигает 80 м. На юге распространены небольшие платообразные увалы, осложненные микрозападинными формами рельефа. В отдельные геоморфологические районы выделены Алаботинская озерная и Камышловская долины, имеющие древнее происхождение.

Следует добавить, что на космических снимках довольно четко выявляются крупные черты геоморфологического строения.

Поэтому благодаря естественной генерализации земной поверхности и большому охвату территории, можно определить границы между морфоструктурами. На территории Омской области выделены морфоструктуры – Васюганское плато, возвышенность Тобольский материк, Ишим-Иртышская равнина, северо-западная часть Барабинской низменности, Омь-Иртышская озерная равнина, Алаботинская озерная равнина, Камышловская долина, Эбейтинская впадина.

В пределах морфоструктур обособляются морфогенетические типы рельефа. Тип рельефа рассматривается как сочетания его форм, которые закономерно повторяются на больших пространствах литосферы с учетом общности происхождения, геологического строения и истории развития. При анализе космических изображений были выявлены основные типы рисунков и соответствие им экзогенных форм рельефа. На территории Омской области выделены следующие основные типы рельефа – плоский, плоскозападинный, плоскозаболоченный, пологоволнистый, пологоувалистый, западинный, гривнозападинный, гривноложбинный. Выделенные типы рельефа служили основанием для проведения границ геоморфологических районов.

При анализе космических изображений установлены основные типы рисунков и соответствие им экзогенных форм рельефа. Например, древовидный рисунок характерен для районов с процессами линейной эрозии (Васюганский пологоувалистый, Тобольский плоскозаболоченный, Васюганский наклонный пологоувалистый, Яровской пологоувалистый), кольцевидно-куполообразный – для эрозионно-аккумулятивных процессов (Аев-Ошский редкогривный и Барабинский озерно-гривный).

В отдельный геоморфологический район выделена пойма р. Иртыш и ее наиболее крупные притоки – Уй, Шиш, Туй, Оша. Дешифрирование поймы выполнялось по материалам синтезированных многозональных снимков в ENVI. На космических снимках отчетливо выражаются особенности руслового процесса р. Иртыш, такие как меандрирование и многоруканность, описанные в работах А.И. Бойнова, А.И. Кузьмина [1975] и И.Б. Петрова [1979]. Старичные озера подковообразной формы часто соединены между собой речками или протоками.

По прямым дешифровочным признакам выделен в отдельный геоморфологический район – Эбейтинская впадина площадью

463,6 км². Площадь соленого оз. Эбейты, расположенного в центре котловины, 87,23 км². Анализ топографической основы показал, что для данного района характерна сильная вертикальная расчлененность. Колебания отметок составляют от 56 до 110 м. Эбейтинская котловина сложена неогеновыми осадками.

Для проведения границы другого геоморфологического района – Курумбельской впадины, являющейся частью Барабинской низменности, использованы косвенные дешифровочные признаки и ландшафтно-индикационные подходы дешифрирования. На космическом снимке спектральные отражательные характеристики района значительно различаются от характеристик соседних геоморфологических районов, поэтому отчетливо выделяются его границы. В рельефе данного района присутствуют гривы и межгивные понижения, часто занятые солеными озерами. Четвертичные отложения представлены суглинистым и глинистым составом.

Аналогичный подход использован при выделении северо-западной части Барабинской озерно-гивной четвертичной аллювиальной равнины. В рельефе данного района представлены гривы, хорошо выраженные и на цифровой топографической карте.

В результате исследований составлена цифровая карта геоморфологических районов на территорию Омской области масштаба 1 : 100 000 (рис. 25].

Для каждого района в БД определены атрибутивные характеристики – номер района, название района, наименование геоморфологической области, преобладающий тип рельефа, максимальная отметка (м), минимальная отметка (м), площадь района (км²), периметр района (км), вертикальное расчленение рельефа (м), горизонтальное расчленения рельефа (км/км²), расчленение озерно-западинными формами рельефа (количество западин на 100 км²) (рис. 26).

Например, склон Васюганского плато (на карте район № 4) представляет собой возвышенную слаборасчлененную эрозией долину, Тарский район (на карте район № 5) – плоскозаболоченную равнину, где болота занимают 88 % от площади. Здесь расположено крупное Китлинское болото. Геоморфологические районы различаются по морфометрическим характеристикам рельефа. Для 4-го геоморфологического района колебания относительных высот составляют до 65 м и характерно среднее горизонтальное расчленение рельефа, равное 0,32 км/км². Тарский район



Рис. 25. Карта геоморфологических районов Омской области [Павлова, Каличкин, 2009а]

Обозначения районов на карте: *Васюганская область*: 1 – возвышенность Тобольский материк; 2 – Васюганское плато с пологоувалистым рельефом; 3 – восточная часть Васюганского плато с плоскозаволоченным рельефом; 8 – склон Васюганского плато с пологоувалистым рельефом; 9 – Тарский район с плоскозаволоченным рельефом; *Среднеобская область*: 4 – Больше-Уватская приозерная впадина; 5 – Ишимский приречный район; 6 – Ишимский водораздельный с плоскозаволоченным рельефом; 7 – Аев-Ошская редкогивная водораздельная равнина; 10 – Яровской район с пологоувалистым рельефом; 11 – Крутинская приозерная впадина; 12 – Колосовская наклонная гривно-ложбинная равнина; *Кулундинско-Барабинская область*: 13 – Притарско-Иртышский увальный район; 14 – Северо-западная часть Барабинской озерно-гривной равнины; 19 – Прииртышский центральный увальный район; 20 – Омь-Иртышская водораздельная равнина; 21 – Омский приречный район; 26 – Прииртышский увальный район; 27 – Омь-Иртышский южный водораздельный; 28 – Оконешниковская озерная равнина; 31 – Черлакский приречный район; 32 – Курумбельская впадина; *Зауральско-Северо-Казakhstanская область*: 15 – Ишимский район с плоскоравнинным рельефом; 16 – Ишим-Иртышский центральный район с плоскозападинным рельефом; 17 – Тюкалинский район с плоским рельефом; 18 – Саргатский долинный район; 22 – Камышловская озерная долина; 23 – Эбейтинская впадина; 24 – Полтавский район с озерно-западинным рельефом; 25 – Таврический террасовый редкогивный район; 29 – Алаботинская озерная долина; 30 – Русско-Полянский район с пологоволнистым рельефом; 33 – пойма р. Иртыш.

Идентификатор	Название района	Тип	Площадь, кв. км	Периметр, км	Высота, м	Средняя температура, °С	Влажность, %
1	Тобольский материк	Возвышенность	10000	1000	100	5	50
2	Васюганское плато	Плато	20000	2000	200	5	50
3	Восточная часть Васюганского плато	Плато	15000	1500	150	5	50
4	Больше-Уватская приозерная впадина	Впадина	5000	500	50	5	50
5	Ишимский приречный район	Приречный район	3000	300	30	5	50
6	Ишимский водораздельный	Водораздельный	4000	400	40	5	50
7	Аев-Ошская редкогивная водораздельная равнина	Равнина	6000	600	60	5	50
8	Склон Васюганского плато	Склон	12000	1200	120	5	50
9	Тарский район	Район	8000	800	80	5	50
10	Яровской район	Район	7000	700	70	5	50
11	Крутинская приозерная впадина	Впадина	4500	450	45	5	50
12	Колосовская наклонная гривно-ложбинная равнина	Равнина	5500	550	55	5	50
13	Притарско-Иртышский увальный район	Увальный район	6500	650	65	5	50
14	Северо-западная часть Барабинской озерно-гривной равнины	Равнина	7500	750	75	5	50
15	Ишимский район	Район	8500	850	85	5	50
16	Ишим-Иртышский центральный район	Район	9500	950	95	5	50
17	Тюкалинский район	Район	10500	1050	105	5	50
18	Саргатский долинный район	Район	11500	1150	115	5	50
19	Прииртышский центральный увальный район	Увальный район	12500	1250	125	5	50
20	Омь-Иртышская водораздельная равнина	Равнина	13500	1350	135	5	50
21	Омский приречный район	Приречный район	14500	1450	145	5	50
22	Камышловская озерная долина	Долина	15500	1550	155	5	50
23	Эбейтинская впадина	Впадина	16500	1650	165	5	50
24	Полтавский район	Район	17500	1750	175	5	50
25	Таврический террасовый редкогивный район	Район	18500	1850	185	5	50
26	Прииртышский увальный район	Увальный район	19500	1950	195	5	50
27	Омь-Иртышский южный водораздельный	Водораздельный	20500	2050	205	5	50
28	Оконешниковская озерная равнина	Равнина	21500	2150	215	5	50
29	Алаботинская озерная долина	Долина	22500	2250	225	5	50
30	Русско-Полянский район	Район	23500	2350	235	5	50
31	Черлакский приречный район	Приречный район	24500	2450	245	5	50
32	Курумбельская впадина	Впадина	25500	2550	255	5	50
33	Пойма р. Иртыш	Пойма	26500	2650	265	5	50

Рис. 26. Фрагмент атрибутивной БД карты геоморфологических районов

отличается небольшим колебанием относительных высот – до 10 м, и низким значением горизонтального расчленения рельефа – 0,09 км/км².

Таким образом, комплексное применение функционально обособленного модуля преобразования ЦМР Vertical Mapper (модуль ГИС MapInfo), Spatial Analysis (ГИС ArcView), авторской программы Morfometria (А.И. Павлова, В.К. Каличкин), а также дешифрирование космических снимков ИСЗ LANDSAT-7 ETM⁺ позволили получить ряд морфометрических карт рельефа, необходимых для геоморфологического анализа территории. ЦМР, содержащая несколько слоев электронных карт особенностей рельефа, дала возможность уточнить границы геоморфологических образований, выявить типы рельефа и описать их в БД. Эти карты могут быть использованы для агроэкологической группировки земель на региональном уровне.

3.2. Геоинформационная модель климата и зонирования территории

Исходной информацией для формирования геоинформационной модели климата и зонирования территории служили данные многолетних наблюдений метеорологических станций, материалы климатического и гидрологического районирования, литературные источники [Агроклиматические ресурсы..., 1971; Агроклиматический справочник..., 1971].

Особенности формирования этих моделей заключаются в том, что атрибутивная информация привязывается к точечному объекту цифровой карты. Точечный или так называемый нульмерный объект служит одним из основных типов пространственных объектов (наряду с линиями, полигонами, поверхностями [Геоинформатика..., 1999]). Характерной особенностью использования данных этого типа является возможность определения пространственного положения в виде набора пар координат и задания атрибутивных характеристик. В среде ГИС разработана карта метеорологических станций и постов (рис. 27).

Атрибутивная информация была структурирована и распределена в три БД, привязанная к метеорологическим станциям. Первая БД содержит сведения о метеорологической станции – номер, наименование, административная принадлежность. Вторая БД



Рис. 27. Карта метеорологических станций и постов Омской области

включает сведения об источнике данных. Третья БД содержит информацию о климатических и гидрологических данных.

В процессе проектирования и разработки БД использованы данные трех типов – идентификационные, атрибутивные и координатные. Идентификационным характеристикам соответствует номер метеорологической станции и ее наименование. Эти характеристики являются уникальными и неповторяющимися на всем пространстве цифровой карты и используются с целью привязки атрибутивной информации в БД ГИС. Координатные характеристики включают сведения о местоположении метеорологических станций в заданной картографической проекции.

Атрибутивная информация БД климатических данных содержит сведения – номер метеорологической станции или поста, наименование станции, среднееголетние значения: сумм температур воздуха (выше 0, 5, 10, 10–12 °С, выше 12–15 °С), осадков в год (мм), осадков за период вегетации (мм), испарения (мм), поверхностного стока (мм), коэффициента увлажнения и др. (рис. 28).

ID	Название станции, поста	T_выше_0C	T_выше_5C	T_выше_10C	T_выше_10_12C	T_выше_12_15C	Осадки_год
5	Гавриловка	2441	2345	2221	2062	1880	325
6	Телецкий	2441	2348	2220	2011	1887	295
7	Оаха	2320	2236	2111	1987	1828	328
8	Носовка	2351	2255	2130	1955	1800	355
9	Мокшанки	2381	2288	2130	1885	1800	315
10	Чарла	2470	2380	2256	2043	1722	302
11	Валочино	2312	2213	2085	1845	1654	353
12	Налибино	2312	2213	2085	1845	1654	317
13	Горностаево	2322	2221	2090	1855	1615	345
14	Муромово	2381	2288	2130	1888	1800	315
15	Кобяковский	2252	2151	2041	1777	1634	324
16	Саргатово	2319	2221	2090	1855	1615	357
17	Павловка	2219	2129	1983	1720	1580	338
18	Морозово	2190	2054	1900	1610	1540	350
19	Викторово	2245	2148	2081	1747	1628	384
20	Сидельниково	2129	2022	1859	1680	1587	418
21	Усть-Ишим	2168	2005	1830	1582	1475	453
22	Телеки	2132	2028	1874	1688	1588	448
23	Кочевье-Усть	2130	2058	1871	1650	1572	418

Рис. 28. Фрагмент атрибутивной БД карты метеорологических станций и постов Омской области

На территории Западной Сибири, в том числе Омской области, сеть метеорологических станций довольно редкая, поэтому для построения электронной карты климата использована интерполяция «точечных» данных на территорию региона в виде изолиний изменения признаков в пространстве. Этот подход неоднократно использовался при районировании В.С. Мезенцевым [1957, 1961], А.П. Слядневым [1965], Д.И. Шашко [1967], В.С. Мезенцевым, И.В. Карнацевичем [1969], П.И. Колосковым [1971] и применим в условиях равнинной местности.

Использование этого метода позволило сформировать слои электронной карты климата: среднеголетние значения сумм температур воздуха выше 0, 5, 10, 10–12 °С; среднеголетние значения осадков за год; среднеголетние значения испарения; среднеголетние значения поверхностного стока; среднеголетние значения коэффициента увлажнения; влагообеспеченность вегетационного периода; запасы продуктивной влаги; среднеголетние значения абсолютных минимумов температуры воздуха; неблагоприятные явления погоды.

Примеры карт среднеголетних значений сумм температур воздуха за период со средней суточной температурой выше 10 °С (период активной вегетации растений) и среднеголетних значений осадков за год приведены на рис. 29 и 30.

С помощью оверлейного наложения электронных карт-слоев в ГИС на территории Омской области выделены и уточнены границы природных зон: южно-таежно-лесная, лесостепная, степная. Лесостепная зона разделена на северную, центральную и южную подзоны (рис. 31).

При выделении границ природных зон и подзон (атрибутивная информация в БД) использованы следующие параметры: уникальный идентификатор, наименование зоны или подзоны, среднеголетние значения сумм активных температур воздуха выше 10 °С, среднеголетние значения сумм осадков за год, среднеголетние значения максимально возможного испарения, коэффициенты увлажнения В.С. Мезенцева [1957] и В.А. Понько [2006, 2008] (рис. 32).

Следует заметить, что при создании региональной системы агроэкологической оценки земель зональные особенности остаются ведущими факторами типизации земель.



Рис. 29. Карта среднегодовых значений сумм температур воздуха выше 10 °С



Рис. 30. Карта среднегодовых значений осадков за год, мм



Рис. 31. Карта природных зон и подзон

ID	Наименование	Средняя высота, м	Средняя температура, °C	Средняя влажность, %	Средняя скорость ветра, м/с	Средняя влажность почвы, %	Средняя температура почвы, °C
1	Южно-лесная степь	150	10	70	2	15	15
2	Северная лесостепь	150	10	70	2	15	15
3	Центральная лесостепь	150	10	70	2	15	15
4	Южная лесостепь	150	10	70	2	15	15
5	Северная степь	150	10	70	2	15	15

Рис. 32. Фрагмент атрибутивной БД карты природных зон и подзон

3.3. Геоинформационная модель почвообразующих пород

Состав и строение почвообразующих пород нередко являются определяющими в отношении произрастания культурных растений. Известно, что существенно различается отношение культур к почвам, развитым на разных четвертичных отложениях, особенно слоистых. Так, литогенные почвы, сформированные на выходах древних отложений, практически не пригодны для возделывания большинства полевых культур [Агроэкологическая оценка..., 2005].

Основой для разработки карты литологии служили результаты исследований, выполненные Я.Р. Рейнгардом [2009].

На территории Омской области среди основных генетических типов четвертичных отложений, созданных процессом транспортировки и накопления материала, выделяются аллювиальные, озерные, делювиальные, эоловые. В числе сложных генетических типов отложений встречаются элювиально-делювиальные, озерно-болотные, эолово-элювиально-делювиальные, делювиально-пролювиальные, аллювиально-озерные отложения.

Четвертичные отложения, залегающие у поверхности земли, распространены по всей территории области. Они разного возраста, генезиса и литологического состава. Из возрастных групп максимальную площадь занимают верхнечетвертичные отложения (Q₃) – 28 %. Менее распространены нерасчлененные верхние и современные четвертичные отложения (Q₃₋₄) – 15 % и современные (Q₄) – 4 %. При этом среди современных отложений 80 % составляют аллювиальные образования пойменных террас р. Иртыш и ее притоков. На половине территории области (50 %) распространены комплексные образования (табл. 18).

Среди верхнечетвертичных отложений распространены элювиально-делювиальные отложения. Они встречаются отдельными контурами на водоразделах, а также в комплексе с другими отложениями. По литологическому составу элювиально-делювиальные отложения весьма разнообразны. На севере области они представлены покровными лессовидными желто-бурыми суглинками, супесями и буровато-желтыми песками.

В левобережье р. Иртыш в бассейнах рек Большая Тава, Большой Аев, Оша, на платообразных повышениях водоразделов в литологическом составе элювиально-делювиальных отложений преобладают желто-бурые покровные тяжелые суглинки и глины,

Таблица 18

**Основные возрастные группы почвообразующих пород
[Прудникова, Рейнгард, 1980]**

Группа отложений	Индекс	Площадь	
		тыс. га	%
Современные четвертичные	Q ₄	623,1	4,41
Нерасчлененные верхние и современные четвертичные	Q ₃₋₄	2145,3	15,19
Верхнечетвертичные	Q ₃	4020,6	28,48
Нерасчлененные средне-верхне-четвертичные	Q ₂₋₃	33,2	0,24
Нерасчлененные ниже-средне-четвертичные	Q ₁₋₂	10,6	0,07
Дочетвертичные	N ₁ , P _g и др.	3,6	0,03
Комплексные	Q ₃ , Q ₃₋₄ , eolQ ₃ , alQ ₃ ^{II} и др.	7282,1	51,58

часто с известковыми вкраплениями, карбонатными и незасоленными. Здесь на севере области обширные площади занимают комплексные контуры, где среди элювиально-делювиальных отложений в депрессиях рельефа встречаются озерно-болотные отложения. Озерные отложения образуются в пресноводных озерах, под действием накопления осадков часто преобладают глины, сапропель, диатомит.

В левобережье р. Иртыш на озерно-аллювиальных равнинах карбонатность пород возрастает, поэтому элювиально-делювиальные отложения представлены карбонатными покровными суглинками, иногда супесями. На повышениях рельефа – гривах, встречаются эоловые отложения в виде песков, супесей, желто-бурых карбонатных суглинков. Элювиально-делювиальные отложения распространены также в правобережье р. Иртыш, южнее р. Тара, где они залегают на верхнеогеновых отложениях. По литологическому составу элювиально-делювиальные отложения представлены тяжелыми карбонатными и часто засоленными суглинками и лессовидными пылеватыми суглинками.

В понижениях рельефа, в западинах и межгивных понижениях залегают озерно-болотные отложения. Эти отложения встречаются в нерасчлененной толще верхних и современных четвертичных отложениях на обширной территории в таежно-лесной зоне,

а также в северной и центральной лесостепи. По характеру литологического состава они весьма разнообразны: глины, тяжелые суглинки, торф и др.

Верхнечетвертичные эолово-элювиально-делювиальные отложения легкого гранулометрического состава залегают на юго-западном склоне Васюганского плато, а ближе к долине р. Иртыш сменяются эоловыми покровными тонко-мелкозернистыми песками (боровые пески, супеси).

Эоловые отложения небольшой мощности легкого гранулометрического состава залегают у поверхности Прииртышского увала. В верхней толще эоловые отложения являются облесованными. Легкий гранулометрический состав почв и облесованность пород в связи с условиями рельефа в значительной мере увеличивают эрозионную опасность почв.

Аллювиально-озерные образования залегают в долинах р. Большая Бича, Туй, Иртыш между поймой и первой надпойменной террасой в береговых обрывах. По характеру литологического состава они представлены переслаивающимися глинами, песками, алевритами.

В долине р. Иртыш и ее крупных притоков распространены аллювиальные отложения разного гранулометрического состава. В низкой пойме р. Иртыш сформированы аллювиальные образования в виде песков, супесей, суглинок и глин современного четвертичного возраста. В высокой пойме р. Иртыш распространены современные четвертичные образования в виде переслаивающихся песков, суглинков, глин, иногда торфа аллювиального происхождения.

Почвообразующие породы южной лесостепи преимущественно тяжелого гранулометрического состава и представлены третичными глинами, сильно карбонатными (иногда засоленными) и их делювием, а также лессовидными тяжелыми суглинками и легкими глинами. На данной территории преобладает среднее (0,3–0,5 %) и слабое главным образом хлоридно-сульфатное засоление пород.

Пример литологических выделов для землепользования Большаковское Любинского района Омской области приведен в табл. 19.

В результате проведенного анализа литературных источников разработана карта почвообразующих пород на территорию Омской области (рис. 33).

На карте выделены следующие классы почвообразующих пород: 1) глинистые и тяжелосуглинистые карбонатные; 2) глинистые и тяжелосуглинистые засоленные; 3) среднесуглинистые;

Таблица 19

Литологические выделы

Почвообразующие породы	Гранулометрический состав	Условия залегания по рельефу
Покровные засоленные глины и тяжелые суглинки	Глинистый	Слабопониженная равнина
Покровные засоленные глины и тяжелые суглинки	Тяжелосуглинистый	Слабопониженная равнина
Покровные карбонатные глины и тяжелые суглинки	Тяжелосуглинистый	Пониженная равнина
Покровные засоленные глины и тяжелые суглинки	Легкоглинистый	Пониженная равнина, приболотные понижения
Озерно-болотные отложения	Тяжелосуглинистый	Болотные западины

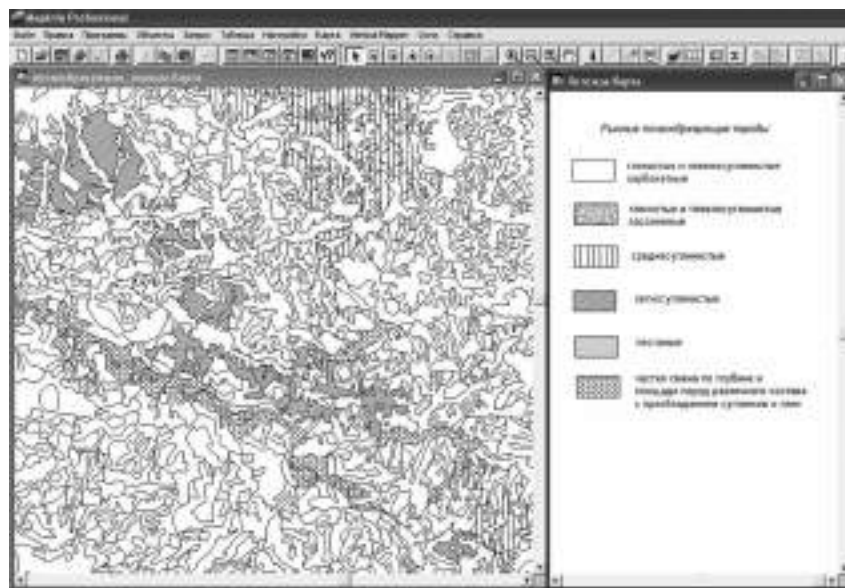


Рис. 33. Фрагмент карты почвообразующих пород Омской области

4) легкосуглинистые; 5) песчаные; 6) частая смена по глубине и площади пород различного состава с преобладанием суглинков и глин.

3.4. Геоинформационная модель почвенного покрова

Основным материалом, использованным при подготовке геоинформационной модели (электронной карты) почвенного покрова, служила почвенная карта Омской области М 1 : 600 000 (1986 г.; рис. 34).

При разработке структуры БД почв были проанализированы работы, посвященные вопросам комплексной агрономической оценки почв [Методика комплексной..., 1985; Региональные эталоны..., 1991; Методическое пособие..., 2001]. Согласно этим работам к агрономическим свойствам почв относятся агрохимические и агрофизические показатели, в составе которых выделяются:

- мощность почвы, морфологические особенности;
- глубина залегания грунтовых вод;
- гранулометрический состав почв для фракции мельче 1 мм

по профилю до глубины не менее 1 м (если допускает мощность почвы); содержание щебнисто-каменистых и крупно-песчаных фракций в почве (крупнее 1 мм);

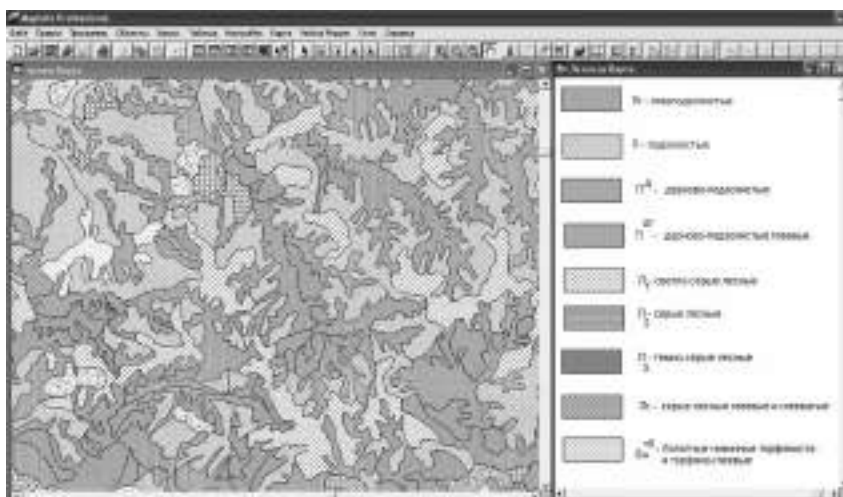


Рис. 34. Фрагмент почвенной карты Омской области

- мощность гумусового горизонта, содержание гумуса и его запасы в гумусовом горизонте и в метровом слое;
- содержание подвижных форм питательных веществ;
- содержание обменных катионов, емкость обмена;
- величина рН, гидролитическая кислотность, насыщенность основаниями;
- содержание по профилю легкорастворимых солей, состав солей;
- объемная масса по профилю и для метрового слоя, порозность общая, плотность почвы;
- структура почвы, содержание водопрочных агрегатов;
- наименьшая влагоемкость, влажность завядания;
- водопроницаемость.

Часть информации о почвах считывалась непосредственно с карт (например, о почвенном индексе, классификационном положении, залегании в рельефе). Другие данные были получены на основе экспертной оценки, базирующейся на литературных источниках [Горшенин, 1955; Градобоев и др., 1960; Классификация и диагностика..., 1977; Добровольский, Урусельская, 1984; Диагностика и классификация..., 1990; ; Кирюшин, 2016] и классификато-

Код	Наименование почвы	Краткое описание почвы	Содержание гумуса	Водородный показатель	Содержание обменных катионов
10	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
11	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
12	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
13	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
14	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
15	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
16	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
17	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
18	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
19	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
20	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
21	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
22	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
23	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
24	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
25	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
26	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
27	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
28	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
29	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
30	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
31	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
32	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
33	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
34	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
35	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
36	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
37	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
38	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
39	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0
40	Чернозем типичный	Среднегумусовый, среднегумусовый, среднегумусовый	10,0	5,5	10,0

Рис. 35. Фрагмент атрибутивной БД карты почвенного покрова

ре почв Омской области (разработан в 2003 г. в целях государственной кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения).

Все пространство почвенных показателей можно представить как конечное множество. Данное множество разбивается на подмножества и описывается в реляционных таблицах БД (рис. 35).

Эти таблицы разделены на две группы по принципу содержания информации. Так, к первой группе отнесены таблицы, содержащие метаописания почвенных показателей и балла бонитета почв. Таблицы содержат формализованное описание почвенных показателей и могут постоянно обновляться. Особенность этих таблиц заключается в отсутствии геометрической части, характеризующей пространственное положение почвенных выделов.

Ко второй группе отнесены таблицы, включающие атрибутивную и геометрическую часть БД. По существу эти БД представляются пространственно-координированными картографическими БД. Сюда относятся две таблицы: собственно почвенные показатели (агрохимические и агрофизические) и таблица с интегральными характеристиками почв (бонитет почв). Все многообразие почвенных показателей представляется в таблицах, взаимосвязанных между собой по принципу «многие-ко-многим».

Связь между таблицами осуществляется через задание первичных ключей. Например, метаописание значений (таблица Value) включает: уникальный идентификатор значения показателя; ссылка на родительский идентификатор; короткое наименование значения показателя; подробное описание значения показателя; порядок вывода; символьный код значения показателя; цифровой код значения показателя.

Для кодирования гранулометрического состава почв приняты следующие классы: 1 – легкие (песок, супесь, легкий суглинок); 2 – средние (средний суглинок); 3 – тяжелые (тяжелый суглинок, глина). Кроме того, дополнительно введены коды для указания щебнистости почв с кодом 4 и для обозначения торфяных почв с кодом 5.

Глубина залегания грунтовых вод была указана в следующих градациях: 1) менее 0,5 м, 2) 0,5–1,0 м, 3) 1–3 м, 4) 3–4 м, 5) 4–6 м, 6) более 6 м.

Мощность потенциального корнеобитаемого слоя почвы зависит от многих факторов. Градации глубины залегания плотной

породы, использованной при кодировании информации, представлены в виде: 1) до 10 см, 2) 10–30 см, 3) 30–50 см, 4) 50–100 см, 5) 100–150 см, 6) глубже 150 см.

Мощность гумусового горизонта почвы указана в следующих градациях: 1) до 5 см, 2) 5–10 см, 3) 10–20 см, 4) 20–50 см.

В атрибутивной базе данных к почвенной карте Омской области отражены следующие сведения: почвенный индекс; название почвы (тип и подтип почвы); залегание в рельефе; преобладающий гранулометрический состав; мощность гумусового горизонта; содержание гумуса; содержание физической глины; рН водная; глубина залегания грунтовых вод; балл бонитета почв.

В современной почвенной картографии большое внимание уделяется отображению на картах почвенных комбинаций и характеристик неоднородности почвенного покрова. Разработаны методики составления почвенных карт с показом структуры почвенного покрова [Составление крупномасштабных..., 1989; Методология составления..., 2006; Руководство по среднемасштабному..., 2008].

Под структурой почвенного покрова (СПП) конкретной территории принято понимать закономерное пространственное размещение почв, связанное с литолого-геоморфологическими и геоботаническими условиями [Агроэкологическая оценка..., 2005]. Роль структуры почвенного покрова для целей типизации земель показана в работах Ю.К. Юодиса [1967], Г.И. Григорьева [1970], В.П. Белоброва [1981], Я.М. Годельмана [1981], Б.Ф. Апарина и Н.С. Антоновой [1983], Н.П. Сорокиной [1983, 1992, 1993, 2000] и др.

При изучении СПП исходили из следующих общих положений. ЭПА – это почвы, относящиеся к какой-либо одной классификационной единице наиболее низкого ранга (разряда), занимающие пространство, со всех сторон ограниченное другими ЭПА или не почвенными образованиями. ЭПА бывают гомогенные и гетерогенные (спорадически пятнистый и регулярно-циклический), обладают внутренним строением и содержанием, геометрией и характером границ. Почвенные комбинации (ПК) могут быть в виде комплексов, пятнистостей, сочетаний, вариаций, мозаик и ташет [Фридланд, 1972, 1980, 1984]. ПК разделяют на два уровня сложности: простые состоят только из ЭПА и представляют собой второй после ЭПА уровень СПП; сложные состоят из простых

ПК, иногда наряду с отдельными ЭПА, это третий уровень СПП. Сложными могут быть только сочетания, вариации, мозаики и ташеты.

ЭПА соответствуют различным микро- и мезоформам рельефа. Чередование этих форм в пространстве формирует комплексный почвенный покров, состоящий из сменяющих друг друга ЭПА. Такая неоднородность, состоящая из закономерной смены ЭПА в почвенном пространстве, образует первый уровень организации почвенного покрова – микроструктуру. Микроструктура в общем виде представляет собой любые генетические типы повторяющихся форм микронеоднородностей почв, состоящих из ЭПА. Наибольшее распространение среди почвенных микронеоднородностей имеют микроструктуры топогенной природы, обусловленные микроморфоскульптурами (западины, ложбины, борозды выпаживания, бугорки навевания, микроповышения, прирусловые валы и др.), которые объединяются терминами нано- и микрорельеф. Этим образованиям в почвенном покрове отвечают ПК типа комплексов (контрастные почвенные микрокомбинации) и пятнистостей (слабоконтрастные почвенные микрокомбинации).

Мезоструктуры – любые генетические типы повторяющихся форм мезонеоднородностей почвенного покрова, которые состоят из различных комбинаций микроструктур и приурочены к определенным комплексам форм рельефа. Этот уровень определяется морфоскульптурами или морфосистемами, которые состоят из комплексов форм экзогенного рельефа – мезорельефа. К ним относятся комплекс слившихся конусов выноса, наземные дельты, морские и речные террасы, поймы, замкнутые равнины, дюнный и карстовый рельеф и др. Наиболее модальной мезоструктурой является топогенная. Она представлена мезокомбинациями почв – сочетаниями (контрастные комбинации) и вариациями (слабоконтрастные комбинации).

Макроструктуры представляют собой любые генетические типы повторяющихся форм макронеоднородностей, состоящих из различных комбинаций мезомакроструктур. Они приурочены к определенным комплексам типов рельефа. Это полигенетические поверхности выравнивания, педилены, пенепленизированные равнины, структурно-денудационные поднятые равнины и другие крупные формы земной поверхности, обусловленные тектоническими процессами.

При изучении СПП Омской области были проанализированы материалы по генезису, составу почвообразующих пород и геоморфологическому строению территории. В качестве основных материалов использованы топографическая карта, морфометрические карты рельефа, карта геоморфологического районирования, карта почвообразующих пород, почвенная карта, а также результаты дешифрирования космических снимков LANDSAT-7 ETM+.

СПП характеризовалась при помощи показателей, которые объединяются в три группы: состав почвенного покрова, строение почвенного покрова, факторы дифференциации почвенного покрова [Фридланд, 1973].

Для характеристики состава ПК указано наименование типов или подтипов почв, а также их соотношение в процентах от общей площади, занимаемой ПК.

Строение почвенного покрова описано рядом показателей, главным из которых служили: степень связи между компонентами, генетико-геометрические формы, расчлененность границ почвенной комбинации, контрастность почвенного покрова. Именно данные показатели позволяют определить, какими ПК образована СПП территории.

Для характеристики расчлененности границ использован коэффициент расчленения (КР). По величине коэффициента расчленения почвенные комбинации разделены на нерасчлененные ($КР < 2$), слаборасчлененные ($2 < КР < 4$), среднерасчлененные ($4 < КР < 6$) и сильнорасчлененные ($КР > 6$).

Для определения контрастности почвенного покрова использовали метод, предложенный В.М. Фридландом [1972]. Суть метода сводится к определению контрастности почвенного покрова по 4-балльной системе: слабая, средняя, сильная, очень сильная и заключается в общей оценке почвенного покрова по принадлежности к мелиоративной или агропроизводственной группе почв. При этом учитываются лишь почвы, занимающие более 5 % от площади комбинации. Слабоконтрастными почвенными комбинациями приняты такие, которые относятся к одной агропроизводственной группе. Среднеконтрастными – все компоненты которых относятся к различным агропроизводственным группам, но к одной мелиоративной группе. Сильноконтрастными – все компоненты которых относятся к двум различным мелиоративным группам. Очень сильноконтрастными – все компоненты которых относятся

к трем и более различным мелиоративным группам. Преимущества данного метода заключаются в простоте определения контрастности, а также практическом значении. В связи с этим данный метод наиболее часто используется при составлении средне- и мелкомасштабных почвенных карт с показом структур почвенного покрова.

В почвенном покрове Омской области преобладают мезоструктуры. Использование областной почвенной карты позволило выделить преимущественно сочетания как контрастные ПК. Генетическая связь между компонентами почвенного покрова носит однонаправленный характер, от автономных почв к подчиненным. Мезоструктуры образуют третий уровень организации почвенного покрова, в которых основным фактором образования ПК выступает мезорельеф. Приуроченность почв к определенным формам рельефа определяет направленность и интенсивность развития различных почвообразовательных процессов (оглеения, дернового, подзолистого, эрозионного). Наличие сведений о степени проявления этих процессов для разных почв позволяет выделять менее контрастные ПК – вариации. Однако отсутствие на почвенной карте сведений о степени эродированности почв, степени оподзоленности затрудняют выделение вариаций. Исследования показали, что более детальное картографирование структур почвенного покрова с показом вариаций возможно на крупномасштабных почвенных картах. Поскольку компонентами мезоструктур служат и микроструктуры, поэтому на карте СПП показаны наиболее контрастные и распространенные виды микроструктур в генерализованном виде (рис. 36).

Для характеристики СПП в базе данных ГИС описаны следующие показатели: семейство СПП, номер группы мезоструктур, наименование группы мезоструктур, условия образования, почвообразующие породы, генетико-геометрические формы, факторы дифференциации почвенного покрова, состав компонентов ПК, коэффициент расчленения границ, степень расчлененности границ, контрастность почвенного покрова (рис. 37).

Компонентный состав преобладающих в почвенном покрове сочетаний, особенности геометрического строения, характер связи между компонентами отражают характер ландшафта территории. Состав сочетаний, включающий территории с однородным почвенным покровом, а также комплексы почв служат основани-

и вертикального расчленения рельефа, характера почвообразующих пород. Для каждого из семейств определены преобладающие формы почвенного покрова. При выделении форм учитывалась также близость генетико-геометрического строения почвенных комбинаций или закономерное сочетание форм почвенных комбинаций, связанное с рельефом территории.

Формы почвенного покрова определяют особенности генетико-геометрического строения ПК, расчлененность границ почвенной комбинации, сложность почвенного покрова.

При типизации СПП установлены группы мезоструктур: I – автоморфные, II – автоморфные почвы с полугидроморфными и гидроморфными, III – автоморфные незэродированные в комплексе с эродированными, полугидроморфными и гидроморфными, IV – полугидроморфные и гидроморфные в комплексе с автоморфными, V – полугидроморфные и гидроморфные, VI – гидроморфные депрессий, VII – гидроморфные пойменные.

Для каждой природно-сельскохозяйственной зоны установлены семейства СПП, в которых преобладают те или иные почвы. Климатические и литолого-геоморфологические условия оказывают существенное влияние на СПП, определяя пространственное распространение ПК и их компонентный состав.

В качестве примера рассмотрим схематично СПП южно-таежной лесной зоны. Для этой зоны характерно преобладание автоморфно-гидроморфной СПП. Незначительная вертикальная расчлененность территории (от 10 до 25 м) на слабовыпуклых и плоских водоразделах, избыточное атмосферное увлажнение способствуют развитию болотных низинных торфяных и болотных верховых торфяных почв. Отличительной особенностью строения почвенного покрова является то, что автоморфные почвы распространены на вершинах увалов, вдоль рек. В последующем происходит смена почв на полугидроморфные, а на плоских водоразделах господствуют гидроморфные почвы.

Для данной зоны выделены семейства, в которых преобладают подзолистые, дерново-подзолистые, дерново-подзолистые-глеевые, глееподзолистые, аллювиальные, болотные низинные и верховые торфяные почвы. Южнее в переходной зоне распространены смешанные сосново-березовые леса. В условиях гривно-западного рельефа с большим распространением болот на небольшой

площади встречаются сочетания с преобладанием темно-серых, серых и светло-серых лесных почв.

По геометрической форме выделены пятнистые, пятнисто-разреженно-древовидные, разреженно-древовидные, древовидные, кольцевые депрессионные, пятнисто-кольцевые депрессионные, полосчато-линзовидные, линзовидные, округло-пятнистые депрессионные, лопастные.

Для каждой из основных групп мезоструктур характерен один или несколько действующих процессов дифференциации почвенного покрова. Эти процессы влияют на формирование определенных генетико-геометрических форм ПК.

Автоморфные. Данная группа включает сочетания автоморфных почв с долевым участием оглееных и эродированных компонентов до 10 %. Примером могут служить сочетания подзолистых с глееподзолистыми почвами, сочетания дерново-подзолистых с дерново-подзолистыми глеевыми древовидной генетико-геометрической формы. Степень расчленения границ ПК характеризуется как слабая ($2 < КР < 4$). Сочетания формируются на хорошо дренированных равнинах при залегании грунтовых вод более 6 м, с пологоувалистым рельефом с однородными рыхлыми почвообразующими породами, под хвойными или смешанными лиственно-хвойными лесами. Большая часть подзолистых почв распахана и тянется узкой полосой по берегам рек. Сочетания формируются на территориях с развитой эрозионной сетью с горизонтальным расчленением рельефа от 0,6 до 0,8 км/км², вертикальным – от 40 до 50 м.

Автоморфные почвы с полугидроморфными и гидроморфными. Сочетания автоморфных почв с полугидроморфными имеют в своем составе от 10 до 50 % полугидроморфных компонентов с преобладанием автоморфных почв. Примерами ПК могут служить сочетания дерново-подзолистых с дерново-подзолистыми глеевыми, сочетания подзолистых с дерново-подзолистыми, глееподзолистыми и др. Сочетания формируются под хвойными или смешанными лиственно-хвойными лесами, имеют разреженно-древовидную генетико-геометрическую форму со слаборасчлененными границами. Распространены на слабо-волнистой равнине, в условиях умеренной дренированности территории при залегании грунтовых вод 3–4 м, с горизонтальным расчленением рельефа до 0,5 км/км², вертикальным – 20–40 м.

Автоморфные незэродированные в комплексе с эродированными полугидроморфными и гидроморфными распространены на участках с горизонтальным расчленением рельефа в среднем от 0,6 до 0,8 км/км² и вертикальным расчленением рельефа от 20 до 40 м. В структуре почвенного покрова преобладают сочетания дерново-подзолистых незэродированных и эродированных, дерново-подзолистых глеевых почв умеренно дренированных территорий, сочетания подзолистых незэродированных и эродированных с глееподзолистыми, а также сочетания подзолистых незэродированных и эродированных с глееподзолистыми и болотными почвами.

Полугидроморфные и гидроморфные в комплексе с автоморфными формируются на плоских равнинах с горизонтальным расчленением рельефа до 0,4 км/км², вертикальным – до 30 м. В качестве основных компонентов почвенных комбинаций участвуют глееподзолистые, дерново-глеевые, болотные почвы. Наблюдается незначительное содержание автоморфных почв (до 10 %). Примерами могут служить сочетания болотных верховых торфяных почв с глееподзолистыми и подзолистыми почвами.

Полугидроморфные и гидроморфные. В данной группе преимущественно участвуют дерновые-подзолистые глеевые и глееподзолистые почвы. Примерами могут служить сочетания дерново-подзолистых с дерново-подзолистыми глеевыми и болотными низинными торфяными почвами с пятно-разреженно-древовидной генетико-геометрической формой. Сочетания формируются на слабоволнистой равнине в условиях умеренной дренированности территории при залегании грунтовых вод до 3 м, с горизонтальным расчленением рельефа от 0,2 до 0,4 км/км², вертикальным – 10–20 м.

Гидроморфные депрессий. Данную группу представляют сочетания болотных низинных торфяных с болотными верховыми торфяными. Сочетания формируются на плоских и слабовыпуклых водоразделах с горизонтальным расчленением рельефа 0,4–0,6 км/км² и вертикальным расчленением от 10 до 25 м, с озерно-болотными отложениями. Сочетания формируются в условиях избыточного увлажнения атмосферными и грунтовыми водами на недренированных равнинах с близким залеганием грунтовых вод (более 1 м), с олиготрофной, автотрофной и мезотрофной растительностью. При этом болотные верховые торфяные почвы распространены под олиготрофной растительностью (мхи сфаг-

новые, угнетенная сосна, багульник, пушица и др.), а болотные низинные торфяные – под автотрофной и мезотрофной растительностью (осоки, тростник, мхи гипновые, ольха, ивняки). Сочетания имеют характерную пятнистую, пятнисто-кольцевую и лопастную генетико-геометрические формы.

Гидроморфные пойменные. Для мезосочетаний характерна смена почвообразующих пород, формирование СПП происходит при периодическом затоплении паводковыми водами, под действием водно-аккумулятивных процессов (поемности, аллювиального, дернового). Преобладают сочетания аллювиальных дерновых кислых с лугово-болотными и болотными верховыми, сочетания аллювиальных дерновых кислых с лугово-болотными и глееподзолистыми почвами. Для сочетаний характерна серповидная, полосчато-линзовидная, полосчатая и крупнопятнистая формы.

При анализе результатов дешифрирования космических снимков и почвенной карты установлено, что в СПП на определенном участке поймы формируются следующие ПК. Так, в прирусловой части поймы формируются полосчато-линзовидные сочетания аллювиальных дерновых кислых с лугово-болотными почвами. В гривистой части поймы распространены преимущественно серповидные сочетания аллювиальных дерновых кислых, лугово-болотных и болотных верховых, а также сочетания аллювиальных дерновых кислых, лугово-болотных, болотных верховых и болотных низинных. В центральной части поймы преобладают поемные процессы, под действием которых формируются пятнистые сочетания аллювиальных дерновых кислых и дерново-подзолистых почв, аллювиальных дерновых кислых с дерново-подзолистыми болотными верховыми. В притеррасной части поймы развиты крупнопятнистые сочетания аллювиальных дерновых кислых с глееподзолистыми почвами.

3.5. Геоинформационная модель эрозии почв

Процессы развития эрозии почв, а также возможности зарождения их на незэродированных почвах, отображают на карте. Это могут быть карты:

– отражающие степень и пространство уже протекающих процессов эрозии почв;

– отражающие потенциальную возможность проявления процессов эрозии почв.

Карта, отражающая потенциальную опасность зарождения и развития процессов эрозии, служит для планирования и проектирования противоэрозионных мероприятий.

Потенциальная опасность проявления процессов эрозии зависит от совокупного воздействия климата, рельефа, почвенного и растительного покрова. В самом общем виде формула потенциальной опасности проявления эрозии имеет следующий вид [Светличный, 2010; Лисецкий и др., 2012]:

$$A = f (B, C, D, E),$$

где А – потенциальная опасность проявления процессов эрозии; В – влияние климатических условий на данной территории; С – влияние рельефа на проявление эрозии; D – влияние почвенного покрова и подстилающих пород на проявление эрозии; E – влияние растительного покрова на сдерживание развития процессов эрозии почв.

Климатические условия. Первым условием возможности проявления эрозии почв является возникновение и формирование водного потока на склонах рельефа. При этом обязательно учитывается возможная сила потока, способного вызывать эрозионные процессы.

Сток на склонах рельефа может формироваться как за счет жидких осадков, так и таяния снега. Поэтому необходимо учитывать режим выпадения осадков, формирующих сток. Это обусловлено тем, что роль разных по характеру осадков неодинакова в процессах зарождения, проявления и развития процессов эрозии почв.

Дожди малой интенсивности способствуют временному структурообразованию. Дожди высокой интенсивности, наоборот, вызывают разрушение почвенных агрегатов. Небольшое количество выпавших осадков не приводит к образованию поверхностного стока и не вызывает смыва почв. Большое количество выпавших осадков, особенно при высокой его интенсивности, формирует поверхностный сток, который вызывает смыв и размыв почвы.

Для оценки характера режима выпадающих осадков составляется «Карта распределения осадков и запасов воды в снеге». На карту наносят данные об осадках в конкретных точках (места расположения метеостанций) и, соединяя их, получают изолинии,

отражающие характер распределения осадков на местности. Цифры, отражающие количество осадков, проставляют непосредственно на изолиниях.

В районах, где эрозия почв вызывается стоком талых вод, особое внимание уделяется сбору данных о мощности снежного покрова в период снеготаяния. Также учитываются сроки и продолжительность периода снеготаяния, которые вызывают паводки, наводнения и зарождение процессов эрозии почв. Для этого составляют таблицу по запасам воды в снеге (мм) и строят подобные изолинии. Чтобы отличить их от изолиний водного потока, применяют другие условные обозначения.

Необходимо учитывать влияние всего комплекса факторов. Так, при выявлении роли климата в возможном возникновении и развитии процессов эрозии почв, нужно учитывать не только количество и характер выпадения осадков, но и температурный фон. Здесь важными показателями являются режимы промерзания и оттаивания почв. Это во многом зависит от температуры воздуха, направления и силы господствующих ветров.

Рельеф. Важным показателем для оценки потенциальной опасности развития процессов эрозии почв является степень расчлененности рельефа. Особенно потенциально опасными для проявления процессов эрозии почв являются территории с развитой долинно-балочной сетью. Степень ее развития выражают в км/км².

Для отображения степени расчлененности рельефа составляют карты «Густоты расчленения рельефа». На таких картах отражают наличие на местности речных долин, балок, логов, оврагов и их размеры.

На ключевых участках выборочно проводятся маршрутные полевые исследования, в процессе которых замеряют наиболее типичные для данной территории овраги, балки и другие формы расчлененного рельефа.

По степени густоты расчленения рельефа территорию разбивают на зоны (от 0,4 до 2,8 км/км²). Территории с наибольшей степенью расчлененности оказываются и наиболее сильно подвержены эрозионным процессам.

Одновременно с картой «Густоты расчлененности рельефа» составляется «Карта глубин местных базисов эрозии». Для этого на топографической основе отражают величины расстояний от линии водораздела до местного базиса эрозии. За местный базис эрозии

принимается или береговая линия реки, или поверхность озера и т.д. По этим показателям разбивают территорию на несколько зон по глубинам оврагов, логов, долин: 1 – 0–25 м; 2 – 25–50 м и т.д. Все это отображают на карте определенными условными знаками.

Для оценки роли рельефа в развитии процессов эрозии почв составляется «Карта уклонов». М.Н. Заславский [1987] предложил для такой карты следующее деление склонов по крутизне: слабоболотистые с уклоном 1–3°, пологие – 3–5, слабопокатые – 5–8, покатые – 8–10, очень покатые – 10–15, крутые – 15–20, очень крутые – 20–40, обрывистые с уклоном более 40°.

Карты уклонов составляются также на топографической основе. С учетом того, что эрозионные процессы начинают развиваться при уклоне 2° и более, судят о напряженности рельефа.

Экспозиция склонов. Разная степень освещенности поверхности склонов влияет на режим влажности почв и температуру воздуха. Это, в свою очередь, отражается на степени покрытия почв растительным покровом. По этим показателям судят о потенциальной возможности зарождения и развития процессов эрозии почв.

На склонах северной и северо-западной экспозиций почвы, как правило, не подвергаются (или подвергаются в небольшой степени) смыву. Поэтому на таких склонах преобладают несмытые и слабосмытые почвы.

На склонах южных экспозиций, где более сухо и растительный покров разрежен, проявляется значительный смыв почв. Он в 2–3 раза превышает смыв со склонов северных экспозиций.

Для карт, отражающих влияние экспозиции склонов на развитие процессов эрозии почв, составляют соответствующую экспликацию.

Почвенный покров. Этот фактор состоит из таких показателей, как степень устойчивости почв против эрозионного воздействия. Для этого все почвы разделяют на таксономические уровни (типы, подтипы и т.д.), указывают мощность гумусового (пахотного) горизонта, а также его характеристику (содержание гумуса, гранулометрический состав). Эту информацию содержит почвенная карта, на основе которой составляют и другие специализированные карты.

При выяснении степени устойчивости почв к эрозионному воздействию учитывают и структуру почвенного покрова. Рассчитывают соотношения различных почв с разной степенью устойчи-

вости против эрозионного воздействия, а также приуроченность различных почв к элементам рельефа.

На основании этой информации прогнозируют степень устойчивости почвенного покрова данного участка (района, региона и т.д.) к эрозионному воздействию.

Растительность. Для выяснения роли растительного покрова учитывают площади, занятые лесом, пастбищами, садами, сенокосами, а также степень распаханности территории. Также учитывают характер распределения различных угодий по элементам рельефа и особо принимают во внимание крутизну уклонов.

Растительный покров сдерживает возможность развития процессов эрозии почв. По степени почвозащитного воздействия сельскохозяйственные культуры разделены на группы с учетом эрозионного коэффициента [по: А.П. Вервейко, 1988]:

- многолетние травы с эрозионным коэффициентом 0,01–0,08;
- однолетние культуры сплошного сева с эрозионным коэффициентом 0,50;
- пропашные (кукуруза, картофель и др.) с эрозионным коэффициентом 0,75–0,85;
- черный пар с эрозионным коэффициентом 1,00.

На территории Омской области Я.Р. Рейнгард [1965, 1987, 2009] выделил 15 типов эрозионного расчленения рельефа (рис. 38). Наиболее распространенными являются микрозападинный (32,1 % от площади области) и увально-долинно-балочный (17,9 %).

Микрозападинный тип эрозионного расчленения встречается в центрально-лесостепной и южнолесостепной подзонах области на плоских и слаборасчлененных равнинах. Характерными особенностями микрозападинного типа расчленения являются:

- 1) небольшие (200–300 м в диаметре) и неглубокие западины и микрозападины (от 10 до 25 м);
- 2) отсутствие линейного расчленения;
- 3) небольшая глубина местных базисов эрозии – до 5 м. Местными базисами эрозии служат западины и микрозападины, а также озера.

В качестве атрибутивных характеристик БД карты основных типов эрозионного расчленения рельефа использованы номер, наименование типа эрозионного расчленения, площадь района (тыс. га и в процентах от общей площади области), площадь деградированных почв (тыс. га и в процентах от общей площади облас-

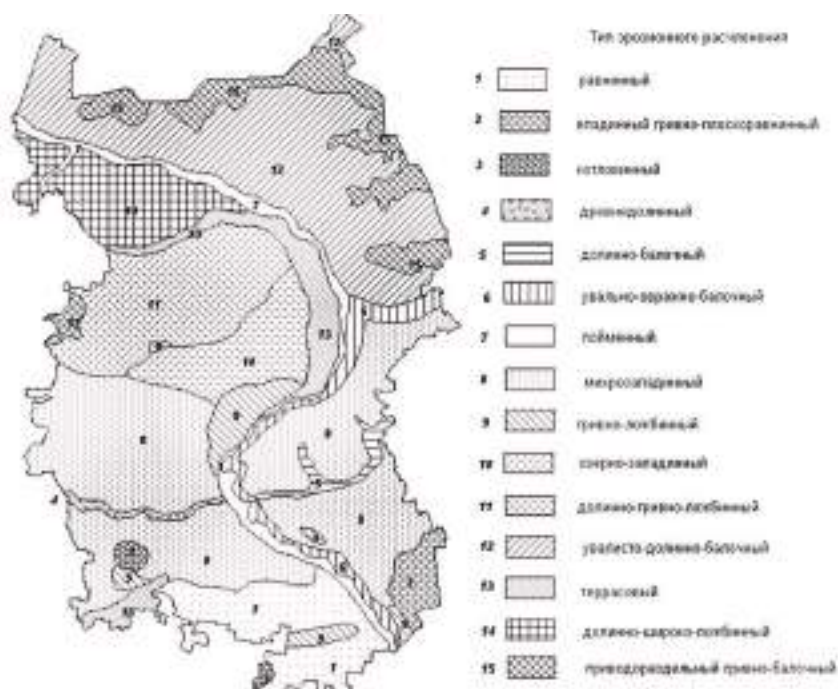


Рис. 38. Карта основных типов эрозионного расчленения рельефа [Рейнгард, 1987]

ти), площадь эродированных и дефлированных земель, распределение пахотных почв на склонах с разным углом наклона рельефа (0,5–1,5°; 1,5–3,0; 3,0–5,0, более 5°; рис. 39).

Я.Р. Рейнгардом [1987, 2009] разработана схема эрозионно-дефляционного районирования Омской области. При составлении схемы районирования автором использованы результаты крупномасштабного почвенно-эрозионного обследования почвенного покрова, оценки хозяйственной деятельности и природных условий. В предложенной схеме районирования выделены почвенно-эрозионные зоны, районы и подрайоны (рис. 40).

При формировании БД карты эрозионно-дефляционного районирования в качестве атрибутов использованы номер района и подрайона, наименование района, принадлежность к эрозионно-дефляционной зоне, площадь пашни (тыс. га), площадь земель, подверженных эрозии (в тыс. га и в процентах от

Код	Наименование	Площадь, тыс. га	Средняя высота, м	Средняя температура, °С	Средняя влажность, %	Средняя скорость ветра, м/с	Средняя продолжительность периода с температурой выше 5°С	Средняя продолжительность периода с температурой выше 10°С	Средняя продолжительность периода с температурой выше 15°С
1	горный	111,7	11,6	20,0	1,0	0	111,7	111,7	111,7
2	горно-лесной	108,2	11,1	20,0	1,2	17,1	111,7	111,7	111,7
3	лесной	101,9	10,8	20,0	1,5	34,2	111,7	111,7	111,7
4	лесостепной	117,4	10,4	20,0	1,8	51,3	111,7	111,7	111,7
5	степной	141,4	10,1	20,0	2,1	68,4	111,7	111,7	111,7
6	степно-лесостепной	148,1	10,2	20,0	2,4	85,5	111,7	111,7	111,7
7	лесостепно-степной	154,8	10,3	20,0	2,7	102,6	111,7	111,7	111,7
8	степной	161,5	10,4	20,0	3,0	119,7	111,7	111,7	111,7
9	степно-лесостепной	168,2	10,5	20,0	3,3	136,8	111,7	111,7	111,7
10	лесостепно-степной	174,9	10,6	20,0	3,6	153,9	111,7	111,7	111,7
11	степной	181,6	10,7	20,0	3,9	171,0	111,7	111,7	111,7
12	степно-лесостепной	188,3	10,8	20,0	4,2	188,1	111,7	111,7	111,7
13	лесостепно-степной	195,0	10,9	20,0	4,5	205,2	111,7	111,7	111,7
14	степной	201,7	11,0	20,0	4,8	222,3	111,7	111,7	111,7
15	степно-лесостепной	208,4	11,1	20,0	5,1	239,4	111,7	111,7	111,7
16	лесостепно-степной	215,1	11,2	20,0	5,4	256,5	111,7	111,7	111,7
17	степной	221,8	11,3	20,0	5,7	273,6	111,7	111,7	111,7
18	степно-лесостепной	228,5	11,4	20,0	6,0	290,7	111,7	111,7	111,7
19	лесостепно-степной	235,2	11,5	20,0	6,3	307,8	111,7	111,7	111,7
20	степной	241,9	11,6	20,0	6,6	324,9	111,7	111,7	111,7

Рис. 39. Фрагмент атрибутивной БД карты основных типов эрозионно-расчленения рельефа

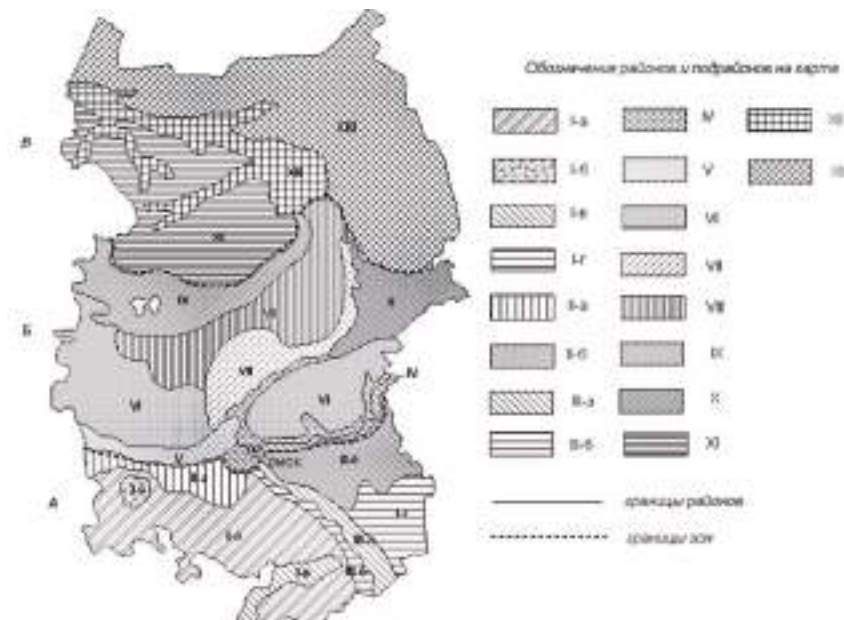


Рис. 40. Карта эрозионно-дефляционного районирования [Рейнгард, 2009]

площади пашни), площадь деградированных земель (в тыс. га и в процентах от площади пашни), площадь земель деградированных в сильной, средней и слабой степени (в тыс. га и в процентах от площади деградированных земель), площадь недеградированных земель (в тыс. га и в процентах от площади пашни; рис. 41).

№	Наименование	Эрозийный индекс	Дефляционный индекс	Суммарный индекс	Классификация	Площадь, га	Площадь, га	Площадь, га
1	Среднеэрозийно-среднедефляционная зона	1,0	1,0	2,0	Среднеэрозийно-среднедефляционная зона	100	100	200
2	Среднеэрозийно-слабодефляционная зона	1,0	0,5	1,5	Среднеэрозийно-слабодефляционная зона	200	200	400
3	Среднеэрозийно-высокодефляционная зона	1,0	2,0	3,0	Среднеэрозийно-высокодефляционная зона	300	300	600
4	Среднеэрозийно-очень высокодефляционная зона	1,0	3,0	4,0	Среднеэрозийно-очень высокодефляционная зона	400	400	800
5	Среднеэрозийно-очень высокодефляционная зона	1,0	4,0	5,0	Среднеэрозийно-очень высокодефляционная зона	500	500	1000
6	Среднеэрозийно-очень высокодефляционная зона	1,0	5,0	6,0	Среднеэрозийно-очень высокодефляционная зона	600	600	1200
7	Среднеэрозийно-очень высокодефляционная зона	1,0	6,0	7,0	Среднеэрозийно-очень высокодефляционная зона	700	700	1400
8	Среднеэрозийно-очень высокодефляционная зона	1,0	7,0	8,0	Среднеэрозийно-очень высокодефляционная зона	800	800	1600
9	Среднеэрозийно-очень высокодефляционная зона	1,0	8,0	9,0	Среднеэрозийно-очень высокодефляционная зона	900	900	1800
10	Среднеэрозийно-очень высокодефляционная зона	1,0	9,0	10,0	Среднеэрозийно-очень высокодефляционная зона	1000	1000	2000

Рис. 41. Фрагмент атрибутивной БД карты эрозионно-дефляционного районирования

На территории Омской области выделяются три почвенно-эрозионные зоны: южная (А), центральная (Б) и северная (В) (см. рис. 37).

Южная эрозионная зона площадью 3139,4 тыс. га (31,5 % от площади сельхозугодий) характеризуется низкой залесенностью, менее 3 % от площади зоны, высокой распаханностью – 2341,8 тыс. га занято под пашню. Эти факторы в сочетании с плоским и плоско-волнистым рельефом местности при слабом горизонтальном расчленении менее 0,5 км/км², глубинах базиса эрозии в среднем 15–20 м и углами наклона 2–5° способствуют повсеместному распространению ветровой эрозии почв. Ветровой эрозии почв подвержено 1291,8 тыс. га пашни (55,2 %), из которых в слабой степени деградировано 949,7 тыс. га, средней – 291,2, сильной – 11,0 тыс. га [Рейнгард, 1987, 2009, 2011; Рейнгард и др., 2011].

Водная эрозия почв распространена локально. Слабо- и среднеэрозионные земли выделяются в районах оз. Эбейты, Алаботинской долине, приречной долине р. Иртыш, Курумбельской впадине.

Слабоэрозионные земли залегают на территории водосбора оз. Эбейты и характеризуются углами наклона 3–4°, горизонтальным расчленением рельефа 0,4–0,5 км/км², глубиной базисов эрозии в пределах 25–30 м и потенциальным смывом почв от 2 до 7 т/га. На территории водосбора также выделены сильноэрозионные земли, характеризующиеся углами наклона рельефа 5–9°, средним горизонтальным расчленением 0,5 км/км² и значительным базисом эрозии – 50–60 м. Потенциальный смыв почвы 12–15 т/га в год.

В Алаботинской долине распространены слабоэрозионные земли, которые залегают в гривно-ложбинном рельефе на склонах грив. Представлены черноземами средне- и легкосуглинистого гранулометрического состава. Характеризуются слабым горизонтальным расчленением – менее $0,3 \text{ км/км}^2$, местными базисами эрозии в пределах 10–20 м, иногда до 30–40 м. Потенциальный смыв почвы менее 5 т/га в год. Характерна высокая распаханность территории, под пашню занято до 86 %. Залесенность составляет менее 1 %. Развиты процессы дефляции почв.

В центральной эрозионной зоне развиты процессы водной и ветровой эрозии почв. Зона занимает центральную часть Омской области, площадь пашни 1730,9 тыс. га (39,7 % от пашни области). Общая площадь деградированной в зоне пашни 328,8 тыс. га, или 19 % [Рейнгард и др., 2011]. В зоне выделяются слабо-, средне-, сильно- и очень сильноэрозионные земли.

Большую часть территории зоны занимают слабоэрозионные земли на плоских равнинах и водоразделах рек Иртыш и Оша с углами наклона менее $1,5\text{--}2^\circ$, слабым горизонтальным расчленением $0,25\text{--}0,5 \text{ км/км}^2$, местными базисами эрозии в пределах 10–15 м, потенциальным смывом почв менее 3 т/га в год.

Среднеэрозионные земли приурочены к склонам грив Прииртышского увала на серых лесных, темно-серых лесных, черноземах обыкновенных, выщелоченных с горизонтальным расчленением рельефа $0,6\text{--}1,0 \text{ км/км}^2$, базисами эрозии 20–40 м, углами наклона рельефа $3\text{--}6^\circ$, потенциальным смывом почв 12–19 т/га в год.

Сильноэрозионные и очень сильноэрозионные земли Прииртышского увала формируются на темно-серых лесных почвах, черноземах обыкновенных и выщелоченных на склонах с углами наклона $7\text{--}9^\circ$ и более, высоким горизонтальным расчленением рельефа – $1,0\text{--}1,2 \text{ км/км}^2$, местными базисами эрозии, равными 60–70 м, иногда 80 м, потенциальным смывом почв 35–43 т/га в год. Большая часть территории Прииртышского увала используется под пашню (82 %). Эти условия способствуют активному протеканию процессов деградации почвенного покрова. Деградированные почвы составляют 23,2 тыс. га (22,8 %) пашни, из которых в слабой степени деградировано 16,5 тыс. га, средней – 6,1, сильной – 0,6 тыс. га [Рейнгард и др., 2011].

На территории озерно-гривной Саргатской равнины встречаются слабо- и среднеэрозионные земли.

В северной эрозионной зоне преобладают плоские и слабовыпуклые водораздельные равнины и увалы. Здесь преимущественно развиты глееподзолистые и болотные почвы: болотные верховые и низинные торфяные, болотные низинные торфянисто-глеевые, подстилаемые озерно-болотными отложениями. Северная зона характеризуется преобладанием водной эрозии, высокой степенью залесенности (45,9 %), распаханность не превышает 16,9 %. Здесь локально проявляется и ветровая эрозия, площадь эродированных и дефлированных почв 47,2 тыс. га [Рейнгард и др., 2011].

Плоские водоразделы большей части возвышенности Тобольский материк характеризуются слабым горизонтальным расчленением, которое изменяется от 0,3 до 0,6 км/км², слабым вертикальным расчленением с глубиной местных базисов эрозии до 10 м и углами наклона рельефа в среднем 0,5–1,5°, избыточным увлажнением и близким залеганием грунтовых вод – до 0,5 м. Процессы водной эрозии практически не развиты, потенциальный смыв почв не превышает 2,5 т/га. Слабоэрозионные земли с потенциальным смывом почв до 2–5 т/га залегают на приречных склонах рек Яглыях, Малый Туртас, Южная Демьянка, Егольях.

Склон Васюганское плато характеризуется пологоувалистым рельефом со следующими показателями: горизонтальное расчленение 0,6–0,8 км/км², на юго-западе достигает 1,0–1,2 км/км². Углы наклона колеблются от 2 до 9° и могут достигать 12–14°, глубина местных базисов эрозии 30–40 м и более. В почвенном покрове преобладают подзолистые, дерново-подзолистые и глееподзолистые почвы. На территории Васюганского плато выделяются слабо-, средне- и сильноэрозионные земли. Большую часть территории занимают средне- и сильноэрозионные земли, приуроченные к склонам увалов и приречьям крупных рек Иртыш, Уй, Туй, Шиш с потенциальным смывом почв 18–27 т/га в год. На водоразделе рек Уй и Тара залегают очень сильноэрозионные земли, потенциальный смыв почв в среднем 25–36 т/га [Рейнгард и др., 2011].

На водоразделах рек Ишим, Большой Аев, Оша сформированы плоские и плосковолнистые равнины, большая часть территории которых занята болотными, верховыми и низинными торфяными, лугово-болотными почвами. Горизонтальное расчленение

рельефа в среднем 0,3–0,5 км/км², углы наклона поверхности – до 1°, глубина местных базисов эрозии до 5–10 м. Потенциальный смыв почв не превышает 1 т/га. Слабоэрозионные земли залегают по гривным формам рельефа, занятыми серыми лесными, темно-серыми лесными почвами. Потенциальный смыв почв в среднем составляет от 4 до 8 т/га, может достигать 14 т/га. По данным Р.Я. Рейнгарда [2009, 2011], интенсивность смыва с грив в среднем 5–17 т/га в год.

Таким образом, в результате исследований с помощью компьютерных технологий осуществлено картографирование эрозионных земель на основе анализа условий рельефа, почвенного покрова и величины потенциального смыва почв. Как показали результаты исследований, расхождения расчетных значений потенциального смыва почв согласуются со сведениями, описанными в литературных источниках.

К настоящему времени на территории Омской области разработано почвенно-эрозионное районирование [Рейнгард, 1987, 2009, 2011; Рейнгард и др., 2011]. Однако изученность эрозионных процессов все еще недостаточна. Среди основных причин, определяющих сложность познания закономерностей проявления эрозии, выделяют следующие.

На проявление эрозии почв оказывают влияние климатические, геоморфологические, геологические, почвенные, ботанические, агротехнические и другие факторы. При оценке эрозионной опасности земель сложно выделить ведущий фактор, так как количественное влияние каждого фактора на возможность и интенсивность проявления эрозии зависит от сочетания других факторов. По этой причине, считает М.Н. Заславский [1987], нельзя устанавливать «критические величины» крутизны и длины склонов, слоя и интенсивности осадков, содержания в почве водопрочных агрегатов. Интенсивность развития эрозии сильно варьирует в пространстве и во времени (по годам, сезонам, месяцам, дням и т.д.). Кроме того, на одной и той же территории одновременно протекают различные природные процессы такие, как дефляция почв, карстовые явления, солифлюкция, оползни и т.д. Водная эрозия почв находится в сложных причинно-следственных взаимосвязях.

Кроме того, отсутствие в России многолетних и систематических данных измерений количества воды и смыва почвы со стоко-

вых площадок и водосборов затрудняет разработку новых моделей и адаптацию существующих моделей эрозии почв. Например, в США для разработки известной модели эрозии почв USLE использованы данные наблюдений 10 тыс. годо-пунктов [Моделирование эрозионных..., 2006].

Для решения проблемы инструментального контроля расчетов и прогнозов эрозии почв считается необходимым создание контрольной сети станций в местах наиболее крупных притоков рек, на территориях с наибольшей степенью проявления эрозионных процессов, регулярно измеряющих параметры стока в наиболее типичных экосистемах с максимальным потенциалом эрозионной опасности. Данная сеть станций составит региональный эталон, с которым можно сверять результаты моделирования, прогнозы эрозионной опасности. При этом каждая станция должна быть оснащена современным оборудованием для измерения параметров почвенной эрозии. Это позволит сформировать банк данных, необходимый для моделирования процессов эрозии [Моделирование эрозионных..., 2006].

3.6. Геоинформационная модель природно-сельскохозяйственного районирования

Районирование определяется как процедура вычленения целостных территориальных систем при выявлении различий между ними. При этом район выступает как некоторое единство, слагающих систему элементов с их взаимодействием. Процедура районирования – это специфическая форма классификации в широком понимании, а типологическое районирование приводит к образованию территориально расчлененных таксонов, свойства которых определяются содержательной сущностью поставленной задачи [Тикунов, 1997]. Ключевым методологическим приемом может быть использовано представление районирования через типологическую группировку (на основе ГИС) и многомерную классификацию геообъектов на основе анализа геоданных [Умывакин, 2002; Основы геоинформатики, 2004].

Традиционный подход к районированию основан на определенной последовательности одномерной классификации данных, или типологических группировок по отдельным природно-хозяйственным показателям. Наложение схем частных видов районирования,

ведущего фактора, сопряженного анализа компонентов, позволяют решить многие вопросы, связанные с изучением бесконечного разнообразия природно-территориальных комплексов [Федина, 1983; Михайлов, 1986]. Применение математических моделей для описания природных комплексов оказывается недостаточным в виду невозможности полного исследования взаимодействующих факторов и их большого количества, неточностью описания признаков и др. [Арманд, 1975].

Возможности ГИС позволяют осуществлять районирование путем последовательной классификации данных, или типологической группировки по отдельным природно-хозяйственным показателям. Для этого исходные данные первоначально интегрируются, структурируются и представляются в виде тематических карт ГИС (слои). Такое разбиение на слои упрощает процесс обработки большого массива данных и повышает информативность тематических карт. В последующем выделение районов осуществляется на основе визуального, оверлейного и топологического анализов тематических карт (частных видов районирования территории). При оверлейном наложении двух и более слоев образуется графическая композиция или графический оверлей, или один производный слой, содержащий композицию пространственных объектов исходных слоев [Геоинформатика., 1999]. Именно в ГИС с помощью оверлея возможны процедуры динамической визуализации информации. Основное преимущество оверлейного анализа при районировании территории заключается в том, что разработанные тематические карты имеют внутреннюю организованную направленность (например, карта геоморфологического районирования). Однако пространственный анализ данных для целей природного районирования, отображенных на картах, возможен при условии взаимосвязи существующих схем. Таким векторно-математическим представлением координатных данных, необходимых для описания местоположения объектов в пространстве, служит топология.

С целью топологического анализа данных, изображенных на частных схемах районирования, нами принят полигональный объект, характеризуемый протяженностью границ и площадью. В этом случае применима полигональная топология, при которой анализируются границы полигонов, обозначающие замкнутые области. Это отвечает задачам типологической или одномерной

классификации данных, отображаемых на тематических картах (слоях) ГИС. В топологическом анализе при уточнении границ районов применимы критерии: смежности границ полигонов и примыкания в виде информации о взаимном положении полигонов.

При анализе топологии полигональных объектов возникли трудности, связанные с тем, что схемы тематического районирования Омской области составлены в разное время и имеют разный масштаб картографической основы (1 : 100 000, 1 : 400 000, 1 : 500 000, 1 : 600 000). При использовании существующих картографических материалов точность определений будет находиться в пределах 0,1 мм в масштабе карты, т.е. колебаться от 10 до 60 м. В практике картографических измерений часто принимается предельная ошибка одного измерения меньше или равной утроенному значению средней квадратической ошибки. В то же время экспериментальные исследования, выполненные А.М. Берлянтом [1978], показывают, что ошибки в положении выделов на мелкомасштабных картах в результате генерализации при 1,5–4-кратном уменьшении масштаба могут достигать 3 мм в масштабе карты. Таким образом, при использовании мелкомасштабных картографических источников точность определений по существующим картам может достигать 180 м.

Проблема выделения границ при районировании, а также оценка точности установления границ районов к настоящему времени еще окончательно не решена [Хаггет, 1968; Николаев, 1979; Исаченко, 1980]. Например, нечеткость, или «размытость», границ районов, выделяемых по климатическим показателям, обусловлена редкой сетью метеорологических станций и постов, распространением лесных массивов и др. [Серышев, Солодун, 2009]. А.Г. Исаченко [1961] указывает, что причины «нечеткости» границ между природными комплексами кроются не в методике районирования, а в объективно существующих «перепадах» в самой природе. Это приводит к особенностям организации пространственных данных в ГИС. Например, климатические данные привязаны к метеорологическим станциям и постам, которые расположены на территории региона довольно редко. На тематической карте ГИС климатические данные привязаны к геометрическому типу «точка», позиционно располагаемому в пределах административного района. Поэтому районирование климата осуществляется

методом интерполирования данных, который позволяет провести на карте изолинии равного распространения признака (см. раздел 3.2).

При оверлейном анализе учитывалась близость (эквидистантное соседство) границ полигональных объектов. При этом в качестве показателя пространственной близости существующих границ и уточненных выступало расстояние между узлами полигонов.

Предварительное районирование осуществлялось путем наложения и сопоставления частных видов районирования (климатического, геоморфологического, почвенного, существующего природно-сельскохозяйственного), а также карты почвообразующих пород, карты структур почвенного покрова. Одним из ограничений традиционных методов районирования, основанных на типологизации данных, является предположение о независимости показателей. Следует, однако, учитывать, что методы ведущего фактора и наложения могут вступать в противоречие друг с другом в рамках принципа комплексности [Мильков, 1964, 1967].

При отсутствии обучающей выборки с эталонами по каждому классу объектов описание и группировка объектов производятся по ведущим природно-хозяйственным факторам (климат, почвы, рельеф и др.). Такой подход снижает размерность исходного признакового пространства. Разделение неоднородной совокупности объектов происходит в автоматизированном режиме с наглядным отображением результатов классификации на экране монитора. Это позволяет осуществлять интерпретацию результатов классификации с учетом внутренней структуры объектов и получать усредненные показатели по классам объектов.

Для повышения объективности результатов районирования дополнительно использовали метод кластерного анализа, который является наиболее распространенным в многомерной классификации [Прикладная статистика..., 1989; Тикуннов, 1997; Айвазян, Мхитарян, 1998]. Этот метод частично исключает ошибки, возникающие при установлении границ экспертным решением.

В конечном итоге природно-сельскохозяйственное районирование осуществлено путем реализации иерархической классификации [Saaty, 1990, 2008; Evangelos, Mann, 1995; Bevilacqua,

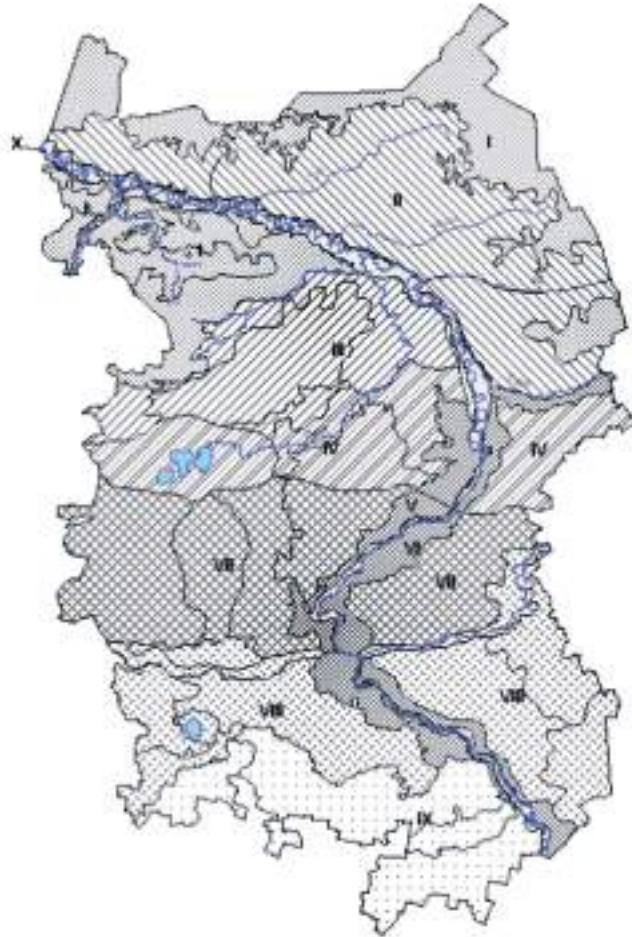


Рис. 42. Карта природно-сельскохозяйственного районирования Омской области

I – Южно-таежно-лесной водораздельный слабодренированный заболоченный; II – Южно-таежно-лесной увалисто-волнистый дренированный залесенный; III – Южно-таежно-лесной редкогивный слабодренированный заболоченный; IV – Северо-лесостепной гривно-западинный слабодренированный; V – Прииртышский левобережный террасовый слабодренированный; VI – Прииртышский правобережный увалистый значительно дренированный; VII – Центрально-лесостепной озерно-западинный слабодренированный; VIII – Южно-лесостепной равнинный слабодренированный; IX – Северо-степной равнинный слабодренированный; X – Пойма р. Иртыш и ее наиболее крупных притоков.

Braglia, 2000] и использовании нечеткой классификации данных. Нечеткая классификация данных выполнена путем вычисления весов показателей, а также вычислением интегральных показателей, отражающих влияние климата, почв, рельефа и ограничивающих факторов ведения сельскохозяйственного производства. Это позволило выделить значимость каждого показателя при районировании территории. Так, например для эколого-хозяйственных показателей определены следующие веса: $w_1=0,445$ (заболоченность), $w_2=0,218$ (эрозия почв), $w_3=0,146$ (засоленность почв), $w_4=0,096$ (залесенность), $w_5=0,095$ (распаханность).

Анализ качества результатов кластеризации основан на использовании понятия «функционал качества разбиения». Различные методы кластеризации позволяют на каждом шаге вычислять разнообразные функционалы разбиения. В качестве количественного критерия исходят из предположения, что наилучшим считается разбиение на кластеры, при котором достигается экстремум (максимум или минимум) выбранного функционала разбиения.

Применение методов многомерного анализа позволило выделить на территории Омской области 10 природно-сельскохозяйственных районов, которые различаются между собой климатическими, геоморфологическими, почвенными и хозяйственными показателями (рис. 42).

Таким образом, комплексный подход к природно-сельскохозяйственному районированию заключался в выполнении взаимосвязанных этапов: формирование ГИС-территории, предварительное районирование на основе тематических карт, многомерная классификация данных, анализ и интерпретация результатов районирования и формирование электронной карты.

ГЛАВА 4

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «ЦИФРОВОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ»

С «легкой руки» компании Bayer в средствах массовой информации и в некоторой специальной литературе используется словосочетание «цифровое сельское хозяйство» (Digital Agriculture). Суть этого словосочетания заключается в том, что Bayer «...обеспечивает фермеров во всем мире *практическими средствами* (выделено нами), которые помогают в принятии решений, основанных на точной оценке и комбинации различных данных, таких как данные о погоде или топографических картах. Используя эти индивидуальные рекомендации, фермеры могут оптимизировать свой бизнес-менеджмент и снизить расходы, результатом чего станет не только повышение урожайности, рост доходов, но и более эффективное и экологически приемлемое распределение ресурсов...» (<https://www.bayer.ru>). Бил Гейтс считает, «...что цифровое сельское хозяйство спасет Африку» (<https://rb.ru/story/bill-gates-on-the-future-of-farming/>). По нашему мнению, правильнее и точнее было бы говорить о применении цифровых технологий в сельском хозяйстве.

Часто вместо «цифровое сельское хозяйство» применяется словосочетание «цифровое земледелие» и это точнее отражает те проблемы, которые мы будем обсуждать в данной главе. Синонимами «цифровое земледелие» можно считать также «точное земледелие» и отчасти «интеллектуальное земледелие». Следует заметить, что понятие «цифровое сельское хозяйство» не тождественно понятию «цифровое земледелие» по количеству объектов. Земледелие имеет дело с почвой, растениями и машинами, а сельское хозяйство – еще с животными и многим другим.

Точное земледелие (Precision Agriculture) – это комплексная система сельскохозяйственного менеджмента, включающая технологию глобального позиционирования (GPS/ГЛОНАСС), ГИС

(GIS), технологию оценки урожайности (Yield Monitor Technologies), технологию переменного нормирования (Variable Rate Technology) и технологии ДЗЗ (Remote Sensing of the Earth Technologies). Суть точного земледелия в том, что уход за посевами производится в зависимости от реальных потребностей возделываемых на данном поле культур. Эти потребности определяются с помощью современных информационных технологий, включая космическую и аэрофотосъемку. Наиболее решенным вопросом в точном земледелии является определение оптимального уровня питания растений и применения средств их защиты от вредных объектов, а также определение доз внесения удобрений и препаратов (технология переменного нормирования), уменьшающих негативное воздействие на почву, растения и окружающую среду (<https://www.dataplus.ru/>). ГИС в этом случае является интегрирующей основой для накопления, хранения, обработки, моделирования, интерпретации, анализа и отображения всей собираемой информации, характеризующей посево, пашню, факторы и условия окружающей среды [Гохман, 2016].

Национальный стандарт Российской Федерации (ГОСТ Р 56084–2014) называет «точное земледелие» «координатным земледелием» и определяет его как систему управления производственным процессом сельскохозяйственных культур, основанную на комплексном использовании современных информационных, навигационных и телекоммуникационных технологий, программно-технических средств и систем, обеспечивающих оптимизацию агротехнологических решений применительно к конкретным почвенно-климатическим и хозяйственным условиям.

По мнению В.П. Якушева, «точное земледелие – фундаментальная наука, занимающаяся разработкой стратегии и тактики земледелия, а также оперативного управления производственным процессом сельскохозяйственных растений с учетом биологических особенностей культуры и сорта, локальных условий почвенного питания растений и микроклиматических условий местности» (из выступления: «Опыт разработки и применения систем точного земледелия»; <http://www.agrophys.ru>).

Словосочитание «интеллектуальное земледелие» появилось в последние 3–4 года (скорее всего, по инициативе ФАО) в виде выражений *Climate smart farming* (климатически умное сельское хозяйство) и *Smart farming* (умное сельское хозяйство) или ин-

теллектуальное сельское хозяйство. Интеллектуальное сельское хозяйство связано с совершенствованием и более эффективным использованием элементов точного земледелия. Например, использование различных датчиков для получения информации о состоянии почвы, растений, окружающей среды при обосновании принятия управленческих решений. Интеграция информации из сети Интернета обо всем, что касается возделывания сельскохозяйственной культуры и качества урожая. Эффективный учет внутривариационной изменчивости параметров плодородия почвы при принятии оптимальных решений за счет более широкого использования систем глобального позиционирования GPS/ГЛОНАСС, сенсоров, информационных систем (управление данными), наукоемких агротехнологий [Личман и др., 2015; Труфляк, 2016].

Использование роботов в сельском хозяйстве также называют «интеллектуальное земледелие» [Измайлов и др., 2015]. Так, компания Agro Robotic Systems (Москва, резидент Сколково: hww.arobosys.com) в качестве такого «интеллектуального земледелия» предлагает считать применение программно-аппаратных комплексов беспилотного управления (использования «роботов») для замены водителей сельскохозяйственных транспортных средств (программа AGROS) и расчета траекторий оптимального маршрута для движения посевного агрегата на основе координат контура поля и других параметров (программа ARS).

К этому можно добавить, что Евразийская экономическая комиссия на заседании 17 августа 2016 г. призвала страны Евразийского экономического союза переходить от информатизации к *цифровизации* (выделено нами) процессов в сельском хозяйстве и смежных отраслях. Целесообразно создавать условия для формирования цифровых платформ, обеспечивающих сквозные цифровые экономические процессы, т.е. всю цепочку бизнеса от производителя к потребителю с учетом «увязки» автоматизированных систем.

Цифровая платформа в сельском хозяйстве должна объединять производителя, потребителя, транспортников, склады, лаборатории, переработчиков, предприятия торговли, научные организации и уполномоченные органы ветеринарного и фитосанитарного контроля и др. В ней должны реализовываться процессы электронной сертификации и слежения движения товаров, агре-

гирования данных о ценах на сельскохозяйственную продукцию, сведения о выданных сертификатах, разрешений на ввоз (вывоз, транзит) грузов, планах развития производств и др. (<http://www.eurasiancommission.org/ru/>).

Обсуждаются также вопросы об использовании в сельском хозяйстве сети «Интернета вещей» (Internet of Things, IoT). В наиболее общем виде под этим понятием подразумевается единая сеть физических объектов, имеющих доступ в Интернет и использующих встроенную технологию для измерения собственных характеристик или параметров внешней среды, анализа собираемых данных и передачи полученной информации на другие устройства (<https://www.microsoft.com/en-us/internet-of-things/>). Раньше неустойчивое покрытие мобильной связи в сельской местности сдерживало применение этих технологий. Сейчас с появлением IoT-сети, в которой разнообразные устройства – датчики и сенсоры – могут работать в течение нескольких лет от одного заряда батареи, расширяется возможность дистанционных видов наблюдений. По этой сети может передаваться информация от датчиков в центр принятия решений сельскохозяйственного предприятия. Стоимость развертывания IoT-сетей ниже, чем у традиционных мобильных сетей. Использование нелицензируемой части спектра позволяет развернуть базовую станцию IoT намного быстрее, чем сеть 2G/3G/4G. Одна такая станция покрывает территорию в несколько десятков километров.

По данным журнала «Control Engineering Россия», наиболее активно эти технологии реализуются в США. Например, компании Senet и PaigeAg в ноябре 2016 г. представили сельхозпроизводителям решение для «умного» полива, которое базируется на LPWAN технологии LoRa LPWAN (Low-power Wide-area Network) – новый тип беспроводных сетей, разработанный для передачи данных телеметрии различных устройств, сенсоров, датчиков и приборов учета на дальние расстояния; <https://strij.tech>). В декабре 2016 г. компания Ingenu, провайдер IoT-сети, и Agri Source Data (США) запустили сервис по контролю уровня влажности почвы. Эти же разработчики планируют представить сервис по определению химического анализа почвы. В феврале 2017 г. международная компания Inmarsat, провайдер глобальной мобильной спутниковой связи, сообщила о запуске IoT-сетей в регионах, где крайне сложно провести мобильную связь. Компания будет ис-

пользовать спутниковый ресурс и базовые наземные станции LoRaWAN производства Actility, чтобы отправлять агрономам информацию через спутниковый Интернет (<http://www.controleng-russia.com/>).

В конце 2016 г. вице-премьер Правительства РФ А.В. Дворкович дал поручение Минсельхозу, Минпромторгу и Минкомсвязи составить план внедрения в АПК технологий «Интернета вещей». Для аграриев планируется разработать и внедрить информационные системы и сервисы. Для этого сначала необходимо обеспечить доступ в Интернет в сельских поселениях.

В начале 2017 г. Фонд развития интернет-инициатив (ФРИИ) разработал «дорожную карту», в которой детально расписан план внедрения инновационных технологий в отечественный АПК до 2019 г. Запланировано, что к 2019 г. 30 % российских хозяйств будут активно использовать технологии «Интернета вещей». В 2017 г. основной упор планируется сделать на госрегулировании «сельскохозяйственных» беспилотных летательных аппаратов (БПЛА; <https://iot.ru>).

Распоряжением Правительства РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р утверждена Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». В Программе, в частности, говорится «... цифровая экономика представляет собой хозяйственную деятельность, ключевым фактором производства в которой являются данные в цифровой форме, и способствует формированию информационного пространства с учетом потребностей граждан и общества в получении качественных и достоверных сведений, развитию информационной инфраструктуры Российской Федерации, созданию и применению российских информационно-телекоммуникационных технологий, а также формированию новой технологической основы для социальной и экономической сферы».

ГИС в полной мере относятся к цифровым технологиям. Разработка современных систем земледелия, например адаптивно-ландшафтных, основана на интеграции и анализе больших объемов первичной информации, ее структурировании и нахождении взаимосвязей между различными факторами, варьирующими во времени и в пространстве. ГИС являются наиболее эффективным инструментом хранения, обновления, анализа и передачи информации о пространственно-распределенных объектах. ГИС сочетают в себе все последние достижения машинной графики и баз данных. Поэто-

му ГИС являются лучшим инструментом для разработки и реализации систем земледелия.

Функции ГИС можно существенно расширить, если интегрировать их с прикладными предметно-ориентированными программами. К таким программам могут быть отнесены классификация и топология земель, морфометрический анализ рельефа, оценка нормативной урожайности культур и технологических свойств земель, оптимизация выбора приемов обработки почвы, формирование севооборотов и оценка их эффективности и многое другое.

Важным элементом применения ГИС является автоматизация процессов анализа природных условий и поддержки принятия решений. Можно написать много «умных» статей и издать «толстых» монографий на предмет полезности цифровых технологий, но при этом не создать ни одной физически действующей компьютерной программы (чем собственно и «грешит» наша отечественная аграрная наука). В этом случае мы ни на йоту не продвинемся в деле освоения цифровых технологий в земледелии.

4.1. Автоматизированный способ классификации земель

Агроэкологическая оценка и классификация сельскохозяйственных земель являются необходимым этапом проектирования систем земледелия. Классификация или отнесение того или иного участка земной поверхности к определенной агроэкологической группе земель осуществляется экспертом, как правило, вручную на основании декларативной модели, основанной на качественных и отчасти количественных характеристиках этого участка. В то же время существует настоятельная необходимость придать этому процессу формализованный характер, по возможности максимально его автоматизировав. В частности, для классификации и выделения на местности так называемых плакорных земель, по нашему мнению, можно использовать морфометрические показатели рельефа [Павлова, 2013, 2014; Павлова, Каличкин, 2016, 2016а; Каличкин, Павлова, 2015, 2017].

В агроэкологической классификации сельскохозяйственных земель деление на группы осуществляется по лимитирующему фактору, определяющему вид их использования и агротехнологии возделывания культур. При этом «...идентификация ведущего лимитирующего фактора и степени его проявления не представляет

трудностей» [Агроэкологическая оценка..., 2005, с. 17]. Однако для автоматизированной классификации сельскохозяйственных земель, например плакорных, в недостаточной степени определены критерии и их пороговые ограничения.

В литературе для обозначения почвенной группировки используют различные термины. В работах [Агроэкологическая группировка..., 1995; Сорокина, Козлов, 2009] автоморфные группы почв, или зональные автоморфные группы, устанавливаются по результатам оценки структуры почвенного покрова (СПП). Пространственные границы отдельных групп определяются по границам почвенных комбинаций, при этом автоморфные не содержат эродированных и огненных компонентов. Несмотря на достоинства данного подхода, существуют методические трудности, связанные с установлением границ элементарных почвенных структур, соизмеримых с элементами рельефа. Правильное пространственное установление элементов рельефа и почвенных единиц влияет на количественные показатели СПП, связанные с соотношением компонентов в комбинации и их объединением в группы. Для преодоления этих трудностей и повышения информативности и точности существующих почвенных карт предлагается создавать вероятностные почвенные карты на основе анализа сведений о рельефе как одного из основных индикаторов распространения почв [Агроэкологическая группировка..., 1995].

В почвенном картографировании рельеф признан наиболее универсальным фактором образования почвенных комбинаций, а сближение почвоведения и геоморфологии привело к образованию новой дисциплины – педогеоморфологии с взаимным обменом в ее рамках информацией о соотношениях между рельефом земной поверхности и почвенным покровом [Клебанович и др., 2014].

Роль рельефа в формировании агроэкологических условий сельскохозяйственных земель является общепризнанной. Изменения рельефа в пространстве и во времени оказывают влияние на агроклиматические условия, сток поверхностных вод, эрозионные процессы и др. [Танасиенко, 2003; Рейнгард, 2009]. Развитие современных технологий обработки информации дает возможность формализованного описания рельефа, представления этой информации в удобном для моделирования виде. Одним из возможных решений представляется использование количественных характе-

ристик рельефа [Wilson, 2000; Geomorphometry..., 2009; Florunsky, 2012]. Наиболее перспективные исследования связаны с получением геоморфометрических показателей методами цифрового моделирования.

Для лучшего восприятия положительных и отрицательных форм рельефа в свое время был предложен метод пластики рельефа, который основан на геометрическом преобразовании горизонталей топографических карт любого масштаба [Степанов, 1990; Степанов, Лошакова, 1993]. Для этого вводится новая картографическая изолиния – плановой и профильной кривизны – морфоизографа, которая соединяет точки перегиба (нулевой кривизны), отделяя на карте выпуклые участки от вогнутых. Морфоизографа структурирует земную поверхность путем разделения на относительные выпуклости и вогнутости, создающие, в свою очередь, своим сочетанием системную целостность. Карты, составленные методом пластики рельефа, позволяют получать дополнительную информацию о структуре и динамике земной поверхности. Метод пластики применяется для составления крупно- и среднемасштабных почвенных карт и в ландшафтоведении [Степанов, 2006].

Однако метод имеет ряд ограничений по использованию в условиях равнинной местности со слабовыраженным рельефом. В ходе полевых исследований на склоновых участках ряд исследователей указывает на несовпадение характеристик склонов с разделяющими линиями рельефа. В связи с этим анализ рельефа только с использованием метода пластики приносит субъективность в координаты элементов рельефа и затрудняет автоматизированную классификацию земель.

Графоаналитические приемы – картометрия и морфометрия – предназначены для измерения и исчисления по картам количественных показателей размеров, формы и структуры объектов. Методы картометрии предполагают непосредственное измерение таких показателей, как длина прямых и извилистых линий, расстояние, площадь объектов и других, а методы морфометрии – проведение расчетов показателей формы и структуры объектов. Морфометрические показатели вычисляются на основе картометрических данных и, как правило, являются относительными величинами. Используются в основном следующие показатели: горизонтальное расчленение поверхности, вертикальное расчленение поверхности, показатели формы объектов.

Горизонтальное расчленение – это характерное расстояние между расчленяющими линиями, например, между постоянными и временными водотоками. Для характеристики горизонтального расчленения часто используют густоту расчленяющих линий, т.е. отношение их суммарной длины к площади. Характерное расстояние между расчленяющими линиями является величиной, обратной их густоте. Например, при густоте водотоков, равной 0,56 км/км², среднее расстояние между водотоками $1000/0,56 = 1786$ м, ширина водосбора, примыкающего к водотоку с одной стороны, 893 м.

Одной из характеристик форм плановых очертаний объектов, показанных на карте, является показатель формы (f) – коэффициент, пропорциональный отношению квадрата периметра объекта (P^2) к его площади (F):

$$f = P^2/4\pi F.$$

Значение этого показателя тем выше, чем больше отклонение рассматриваемой фигуры от круга, показатель формы которого равен единице. Этим показателем можно пользоваться для оценки формы ландшафтных, почвенных и других ареалов.

Нами использован морфодинамический метод, обладающий возможностями математического анализа данных о рельефе. В общем виде морфодинамический анализ позволяет разделить территорию на элементарные поверхности (ЭП), ограниченные структурными линиями и характерными точками. Это математически обоснованный метод, позволяющий выделять ЭП, обладающие сходными генетическими свойствами, а также одинаковым влиянием водных, литодинамических потоков и терморежима склонов на формирование и свойства почв. В настоящее время он активно используется для изучения морфодинамической структуры ландшафтов [Шарый, 2006; Михайлов, 2015]. Применение метода ручным способом по топографической карте является сложной процедурой, связанной с трудностями определения границ между континуальными формами поверхности. Однако применение данного метода в сочетании с методами моделирования рельефа позволяет оперировать с цифровой матрицей высот и вычислять различные параметры рельефа. Для задач классификации сельскохозяйственных земель этот метод ранее не применялся.

Следует добавить, что мы разделяем мнение П.А. Шарого [2006] о недостаточности наиболее часто используемых шести ха-

ра характеристик рельефа (высоты, крутизны и экспозиции склонов, горизонтальной и вертикальной кривизны, площади водосбора) для описания всего многообразия форм рельефа и всех аспектов его влияния на ландшафты и экосистемы. П.А. Шарый в этой же работе предлагает использовать 18 морфометрических величин. Однако мы ограничимся теми морфометрическими показателями рельефа, которые смогли получить непосредственно с карт и данных ДЗЗ или с помощью моделирования.

В арсенале современных методов анализа данных имеются также методы нечеткой логики [Пегат, 2013] и искусственных нейронных сетей [Барский, 2004; Рутковский, 2010; Редько, 2011].

Исследования по классификации земель проводили на территории землепользования ООО «Салаир» Маслянинского района Новосибирской области. С помощью полнофункциональной ГИС ArcGIS 10 создавалась БД ГИС, включающая топографическую, почвенную и землеустроительную карты. Признаками классификации плакорных земель служили характеристики рельефа (геоморфометрические параметры), почвенный покров, степень эрозии почв. Перечисленные признаки и границы их изменения структурированы в БД частных шкал оценок с помощью СУБД Microsoft Access 2013 [Павлова, Каличкин, 2016].

На основании топографической карты создана цифровая модель рельефа (ЦМР) методом ANUDEM [Hutchinson, 1989]. При моделировании размер ячейки GRID-модели был выбран равным 5 м на основе работы [Negl, 2006]. Это позволило вычислить количественные показатели рельефа и создать с помощью цифрового моделирования морфометрические карты горизонтального и вертикального расчленения, плановой, профильной и общей кривизны земной поверхности, крутизны склонов, индекса SPI (Stream Power Index).

Морфометрические карты рельефа использованы для установления границ элементарных поверхностей (ЭП), представляющие собой морфологически однородные образования, ограниченные между собой грянями и перегибами в рельефе [Ласточкин, 1987, 1991, 2002].

Для классификации и топологии земель использованы нейронные сети. Для обучения нейронных сетей с учителем создана база знаний (БЗ), состоящая из совокупности ЭП. Отдельный контур ЭП оценивался по принадлежности к группе земель путем

сопоставления атрибутивных данных ЭП и БД шкал оценок. Для обучения многослойной нейронной сети использован градиентный алгоритм обратного распространения ошибки с коэффициентом момента с помощью программного комплекса Matlab 2014.

Выбор признаков классификации для плакорных земель тесно связан с их пониманием. Под плакорными понимают земли, распространенные на равнинных дренированных территориях. На этих землях развиты автоморфные зональные почвы с ограниченным перераспределением осадков и других агроклиматических ресурсов по отношению к среднесезонным характеристикам. По умолчанию предполагается, что эти земли не подвержены водной эрозии. Было принято решение о выделении участков с различной степенью проявления водной эрозии (метод исключения).

В дополнение к перечисленным выше характеристикам рельефа использовали индекс SPI. В литературе индекс SPI называется «индексом интенсивности течений» [Омелько, Яковлева, 2012], «индексом мощности линейной эрозии» [Глотов, 2013]. Индекс характеризует накопление осадочных пород, потенциал развития эрозии и применяется для оценки эрозионных процессов [Danielson, 2016; Erosion Vulnerability..., 2016]. Исключение земель, подверженных эрозии, позволило более объективно выделить плакорные земли на изучаемой территории.

Общий анализ гипсометрической информации землепользования ОАО «Салаир» показал, что абсолютные высоты в среднем составляют 400 м, глубина базисов эрозии – 20–40 м, в отдельных случаях более 50 м (рис. 43). Наиболее пониженные участки территории хозяйства относятся к речным долинам и лощинам, а также к пойме р. Елбань с отметками до 300 м.

Большую часть территории хозяйства (95 %) занимают склоновые земли различной крутизны, остальную часть – плоские поверхности с углами наклона рельефа менее 1° (рис. 44). Значительная площадь территории хозяйства расположена на слабопокатых склонах с углами наклона от 1,1 до 3° (30 %), от 3,1 до 5,0° (18) и покатых с углами наклона от 5,1 до 8° (21 %). Крутые склоны (от 10 до 15°) занимают 15 % территории хозяйства. Земли с очень крутыми и чрезвычайно крутыми склонами (более 20°) занимают 11 % от общей площади. Статистические расчеты показали, что среднее значение крутизны склонов составляет 3,9°, величина стандартного отклонения достигает 5,9°. Широкое распространение склоно-

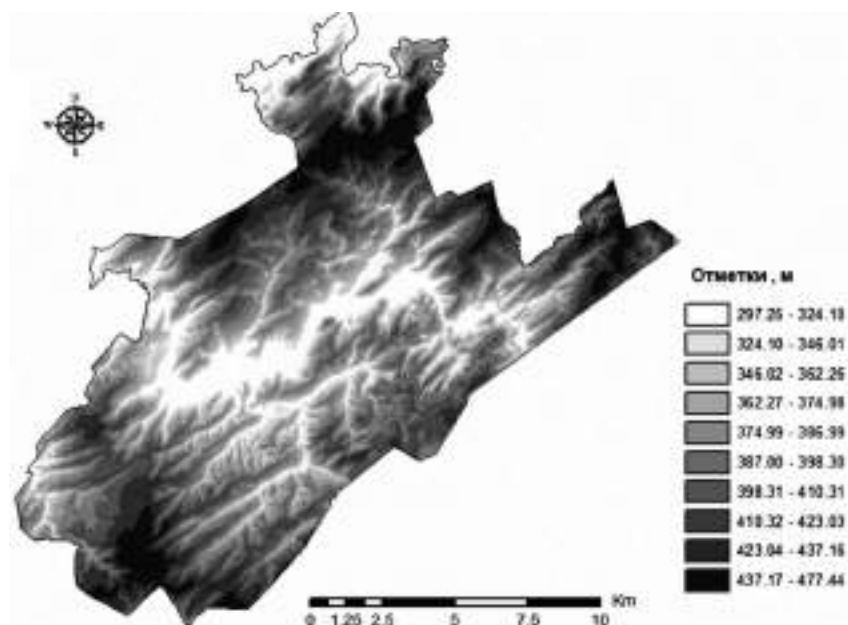


Рис. 43. Гипсометрическая карта рельефа

вых земель оказывает влияние на развитие и интенсивность процессов водной эрозии и формирование почв разной степени смытости.

Геоморфометрический анализ растровых ЦМР базируется на двух исходных положениях. Первое основывается на математической формализации земной поверхности, второе предусматривает расчет показателя в точке (пикселе) с учетом окружения. Этот анализ в ГИС осуществляет процессно-функциональную интерпретацию следующих базовых величин – уклона, экспозиции и кривизны земной поверхности (<http://gis-lab.info/>).

Согласно первому положению, ЦМР является моделью скалярного геополя, которое характеризует пространственное распределение показателя высоты. Модель описывается многочленами, которые являются одними из наиболее простых и хорошо изученных функций в математике. Они характеризуются такими свойствами, как непрерывность и сглаженность, благодаря чему их легко можно интегрировать и дифференцировать. Это открыва-

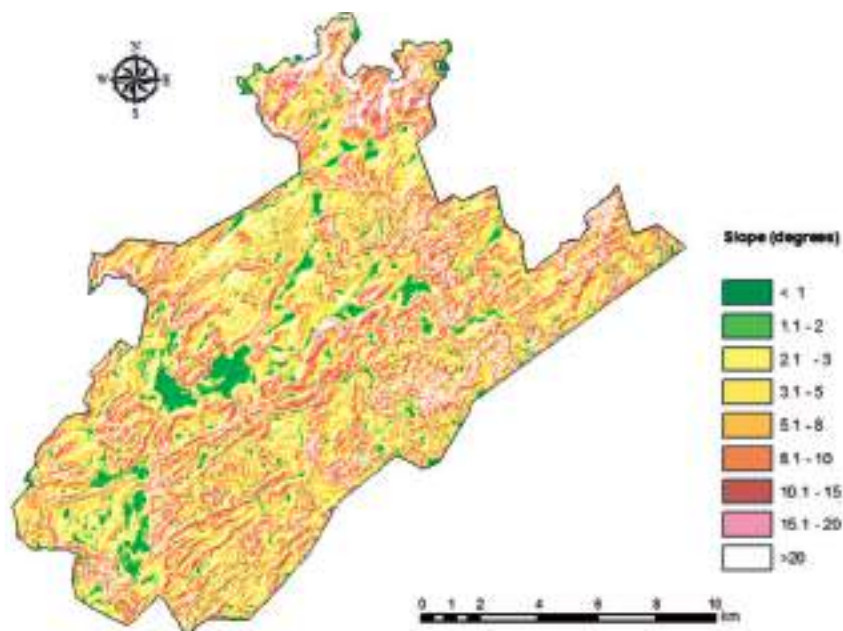


Рис. 44. Карта углов наклона рельефа

ет возможности использования математического анализа не только для более совершенного представления земной поверхности, но и для изучения ее свойств, например на основе производных разных порядков.

Согласно второму положению, основной аналитической операцией в ГИС, которая используется для расчета большинства параметров на основе растровых ЦМР, как моделей геополя высот, является анализ окружения. Он позволяет количественно описать связь между точкой (пикселем) и его ближайшим окружением.

Геоморфометрические параметры уклона и экспозиции взаимосвязаны, так как оба эти показателя характеризуют градиент поверхности, т.е. интенсивность изменения ее значений в пространстве, которая может быть выражена производной первого порядка. Как производная поверхности первого порядка градиент характеризуется величиной (уклоном) и направлением (экспозицией).

Для производных функций, в свою очередь, могут быть рассчитаны другие производные. Если первая производная описывала градиент поверхности (его величину и направление), то вторая

фиксирует меру изменений этого градиента, т.е. является градиентом первой производной в заданном направлении. На производных второго порядка основывается система морфометрической кривизны, описывающей форму поверхности. Наиболее часто в геоморфометрическом анализе используется горизонтальная (плановая), вертикальная (профильная) и средняя (общая) кривизна (<http://gis-lab.info/>).

В соответствии с изложенным выше значение второй производной матрицы высот будем считать связанной с положением структурных линий рельефа, ограничивающих его конкретные формы. Для этого использованы плановая и профильная кривизна. Плановая характеризует первый механизм аккумуляции вещества, который определяется способностью потока сходиться или расходиться по земной поверхности. Области отрицательной плановой кривизны соответствуют зонам конвергенции, схождению линий тока. Области положительной плановой кривизны определяют зоны дивергенции, на которых происходит расхождение линий тока. Положительное значение кривизны указывает на то, что поверхность горизонтально-выпуклая. Отрицательное значение указывает на то, что поверхность горизонтально-вогнутая. Значение нуль указывает на то, что поверхность линейная.

Определено, что значения плановой кривизны в целом на территории землепользования хозяйства изменяются от $-7,9978$ до $11,6838$, среднее значение составляет $-0,0029$, стандартное $-0,1473$. Использование карты плановой кривизны позволило выделить выпуклые и вогнутые участки на изучаемой территории (рис. 45).

Составлена карта профильной кривизны (рис. 46). Значения профильной кривизны колеблются от $-9,798$ до $8,839$ (отрицательное значение – зона аккумуляции, положительное – зона сноса), при среднем значении $0,003$ и стандартном отклонении, равном $0,188$. Профильная кривизна служит в качестве меры относительного замедления потоков, перемещающихся вдоль поверхности под действием силы тяжести (второй механизм аккумуляции). Профильная кривизна влияет на ускорение или замедление потоков, т.е. на эрозию и депонирование осадков. На вогнутых участках скорость поверхностного и внутрипочвенного стока замедляется, на выпуклых – ускоряется. При помощи профильной кривизны устанавливается местоположение зон аккумуляции на вогнутых участках и зон его сноса на выпуклых.

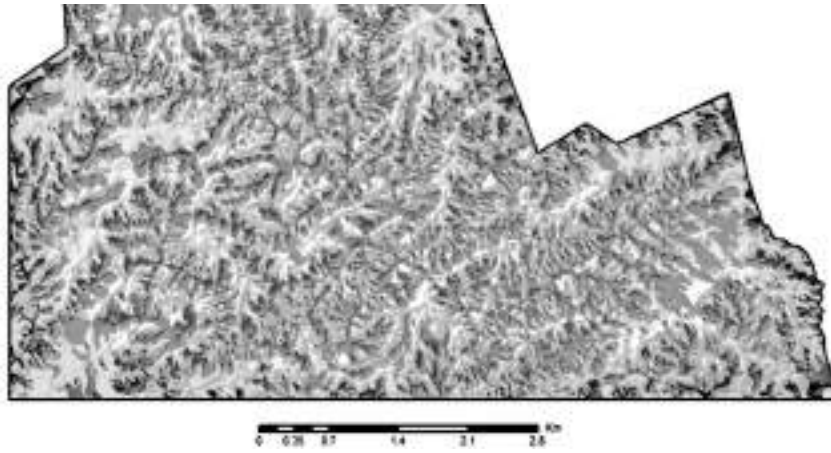


Рис. 45. Карта плановой кривизны земной поверхности



Рис. 46. Карта профильной кривизны земной поверхности

Общая кривизна изменяется от $-14,663$ до $21,482$, среднее значение составляет $-0,066$, стандартное отклонение $-0,152$. Общая кривизна служит в качестве совокупной меры кривизны земной поверхности и характеризует оба механизма аккумуляции вещества. Уклон поверхности характеризует относительную интенсивность сноса материала, а экспозиция – его направление [Zeverbergen, Thorne, 1987; Основные..., 2005].

Таким образом, вертикальная кривизна определяет закономерности эрозии и аккумуляции, горизонтальная – пространственную неоднородность стока. Одновременный учет их обоих помогает лучше понять закономерности перераспределения материала по поверхности в жидкой или твердой форме. Определено, что значения плановой, профильной и общей кривизны земной поверхности в пределах землепользования хозяйства изменяются в значительных пределах.

На основании полученных карт кривизны выполнено деление рельефа на выпуклые, вогнутые и плоские поверхности. Выпуклые характеризуются положительными значениями кривизны, вогнутые – отрицательными, для плоских поверхностей – кривизна равна нулю (табл. 20).

Статистический анализ карты индексов SPI показал, что их значения находятся в пределах от минус $13,81$ до $12,93$; среднее

Таблица 20

Фрагмент частных шкал оценок для плановой, профильной и общей кривизны земной поверхности

Показатель	Градация	Форма поверхности
Плановая кривизна	$C_{\text{plan}} < 0$	Выпуклые в плане
	$C_{\text{plan}} > 0$	Вогнутые в плане
	$C_{\text{plan}} = 0$	Плоские поверхности
Профильная кривизна	$C_{\text{prof}} > 0$	Выпуклые в профиле
	$C_{\text{prof}} < 0$	Вогнутые в профиле
	$C_{\text{prof}} = 0$	Плоские
Общая кривизна	$C < 0$	Выпуклые
	$C > 0$	Вогнутые
	$C = 0$	Плоские

значение составляет минус 0,48, стандартное отклонение 2,57. Для построения карты классов SPI использован способ естественных интервалов [Jenks, 1967]. На территории землепользования хозяйства выделены классы: эрозия отсутствует (значения индексов от -13,80 до -6,47), низкий потенциал развития (от -6,46 до -1,54), средний (от -1,54 до 0,24), высокий (от 0,25 до 2,76), очень высокий потенциал развития эрозии (от 2,76 до 12,93).

На основании анализа электронных карт-слоев крутизны склонов, классов индекса SPI и почвенного покрова путем оверлейных операций выделены эрозионные земли (рис. 47): слабоэрозионные с крутизной склонов от 1,5 до 3°, со слабосмытыми почвами и низким потенциалом развития эрозии; среднеэрозионные земли с крутизной склонов от 3 до 5°, среднесмытыми почвами, средним потенциалом развития эрозии; сильноэрозионные земли с крутизной склонов от 5 до 8° с сильносмытыми почвами и высоким потенциалом развития эрозии; очень сильноэрозионные земли с крутизной склонов более 8°, сильносмытыми и намытыми почвами с очень высоким потенциалом развития эрозии.

Для классификации и топологии плакорных земель использована многослойная нейронная сеть, обученная алгоритмом обрат-



Рис. 47. Фрагмент карты эрозионных земель ОАО «Салаир»
(М 1 : 50 000)

ного распространения ошибки с коэффициентом момента (равным 0,1) в программном комплексе Matlab 2014. Обучение осуществлялось с учителем при использовании сведений БЗ. При этом число исходных образов для обучения составило 1200 шт. Для этого согласно выбранной архитектуре для многослойного персептрона на входном слое определены нейроны с векторами признаков, два промежуточных и один выходной слой с двумя нейронами. В качестве критериев оценки точности использованы коэффициенты MSE (Mean Square Error) и RMSE (Root Mean Square Error), которые составили 0,92 и 0,96 соответственно.

Плакорные земли распространены на возвышенных плоских и слабовыпуклых участках и характеризуются следующими показателями: кривизна земной поверхности – плановая изменяется от 0 до 0,03, профильная – от 0 до 0,15 и общая – от 0 до 0,22; углы наклона рельефа менее 1,5°; горизонтальное расчленение рельефа менее 0,5 км/км²; вертикальное – менее 5 м. При данных геоморфологических условиях процессы эрозии проявляются в незначительной степени или отсутствуют, индекс SPI изменяется от -13,80 до -6,47 (рис. 48).

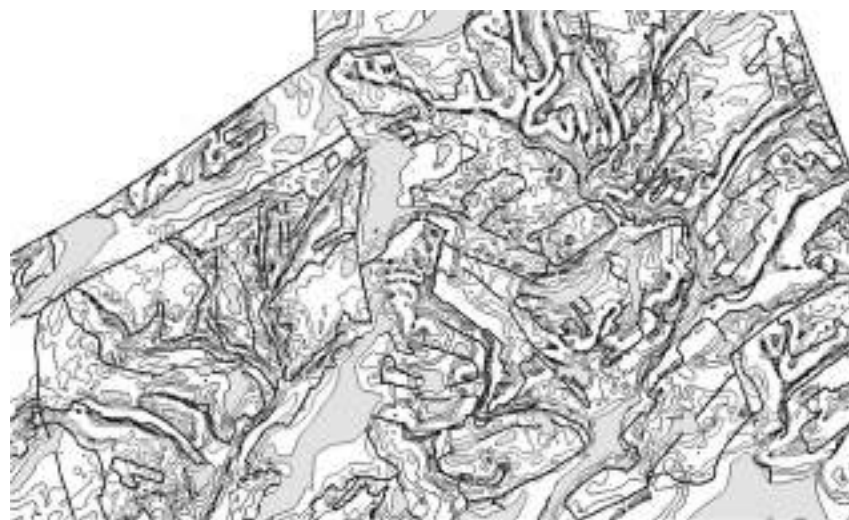


Рис. 48. Электронная карта плакорных земель ОАО «Салаир»
(М 1 : 50 000)

Таким образом, автоматизированный способ классификации плакорных земель с применением ГИС и НЭС состоит из следующих этапов. С помощью ГИС ArcGIS 10 формируется БД, состоящая из топографической, почвенной и землеустроительной карт (разрабатывается ЦМЗ). Методом интерполирования ANUDEM создается топологически корректная цифровая модель рельефа (ЦМР). ЦМР содержит карты: гипсометрическую, крутизны и экспозиции склонов, плановой, профильной и общей кривизны земной поверхности, кумулятивного стока. Устанавливаются границы элементарных поверхностей (ЭП), представляющие собой однородные морфологические образования. Учитываются параметры, характеризующие интенсивность протекания эрозионных процессов (индекс SPI). С помощью НЭС осуществляется классификация, в основу которой положено отнесение ЭП по комплексу признаков к определенной группе земель. За основу классификации принимаются количественные показатели рельефа. Для этого создаются частные шкалы, содержащие показатели рельефа, почвенного покрова, степени развития эрозии. Формируется база знаний (БЗ) для обучения многослойной нейронной сети с использованием БД ГИС и частных шкал оценок. Обученная нейронная сеть осуществляет классификацию и топологию земель.

4.2. Автоматизированная оценка продуктивности земель

Одна из задач агроэкологической оценки земель для разработки и реализации систем земледелия заключается в том, чтобы идентифицировать агрономически значимые параметры различающихся участков земли в соответствии с биологическими требованиями сельскохозяйственных растений к условиям произрастания [Агроэкологическая оценка..., 2005]. Или, как считает В.И. Кирюшин [2007], «...в системе агроэкологической оценки земель в качестве базовой категории рассматривается качество земли, характеризующее совокупностью условий, влияющих на удовлетворение потребности растений в факторах жизни, а также на экологические функции и устойчивость агроландшафта».

Агроэкологическая оценка земель определенным образом соотносится с экономической оценкой (кадастровой, рыночной), социальной (условия жизни людей) и эколого-экономической (оценка

ущерба от деградации земель и др.). Системы агроэкологической оценки земель, как правило, включают ландшафтно-экологический анализ территории и почвенного покрова, типизацию и классификацию (группировку) земель, а также ГИС [Васенев, 2002; Агроэкологическая оценка..., 2005].

Оценка земель также согласуется с оценкой сельскохозяйственных растений и выявления потенциала их урожайности. Агроэкологическая оценка культур включает определение их отношения к почвенным, геоморфологическим, литологическим, гидрологическим и другим условиям. При этом наряду с количественными оценками урожайности не менее важное значение имеет качество продукции. Система оценки должна учитывать также технологические особенности возделывания культур и их средообразующее влияние в агроценозе [Адаптивно-ландшафтные..., 2002; Модели..., 2005].

Элементарным объектом дифференциации пашни на уровне хозяйства является рабочий участок, в пределах которого может находиться несколько разновидностей почв. Если рабочий участок однороден по почвенному покрову, то он не дифференцируется. Если же в нем несколько почвенных контуров с близкими по свойствам почвами, то эти свойства усредняются и разрабатываются технологии возделывания культур, приемлемые для всех почв. Если почвенный покров имеет высокую комплексность сильно различающихся по свойствам почв, то в каждом конкретном случае принимается решение об его использовании. Возможна трансформация вплоть до вывода отдельных контуров почв из рабочего участка. Кроме того, для каждого рабочего участка производится оценка агрономически ценных свойств почв (плодородие) и на этом основании делается вывод о пригодности участка для возделывания тех или иных культур [Власенко и др., 2003].

Разработка программного обеспечения и применение ГИС в проектировании систем земледелия и агротехнологий в Сибирском отделении Россельхозакадемии по сути были инициированы администрацией Новосибирской области, в частности Г.А. Сапожниковым и Б.И. Ивлевым. В соответствии с планом социально-экономического развития Новосибирской области на 2002 г., постановлением главы администрации от 14.01.2002, № 33, п. 5.9, была утверждена программа «Применение геоинформационных

технологий в АПК Новосибирской области». Цель программы – разработка геоинформационной системы для проектирования и ведения адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ) на примере двух базовых хозяйств Новосибирской области. Компьютерная модель АЛСЗ должна была стать основой создания автоматизированного рабочего места (АРМ) землеустроителя-проектировщика и агронома-технолога.

Поставленная цель достигалась решением следующих задач:

- провести количественную оценку природного и организационно-технологического потенциала объектов проектирования, выявить лимитирующие факторы;

- разработать рациональный вариант землепользования и основные блоки АЛСЗ (севообороты, системы обработки почвы, удобрений, защиты растений и др.);

- разработать модель оперативного управления земледелием в соответствии с динамикой погодно-климатической, почвенно-экологической ситуаций и финансовыми возможностями моделируемого объекта;

- создать АРМ землеустроителя-проектировщика и агронома-технолога.

Важнейшими целевыми показателями реализации Программы являлись более ускоренный переход к освоению АЛСЗ в хозяйствах Новосибирской области; стабилизация экономического состояния сельхозпроизводителей за счет обоснованности принятия решений; уменьшение экологической нагрузки на агроландшафты, уменьшение эрозии и дефляции почв; формирование высококвалифицированных специалистов сельскохозяйственного производства высшего и среднего звена.

Для реализации Программы был сформирован творческий коллектив ученых в составе: от Сибирского НИИ земледелия и химизации сельского хозяйства – А.Н. Власенко, В.К. Каличкин, А.И. Южаков, Н.И. Добротворская, Л.Н. Иодко, А.И. Ким (А.И. Павлова); от Сибирского физико-технического института аграрных проблем – В.В. Альт, О.Ф. Савченко, Л.А. Колпакова, Т.Н. Боброва, С.К. Красноусова, Е.Н. Тимофеев; от Северо-Кулундинской опытной станции – А.С. Тарасов, Т.М. Бойко, В.В. Васин; от Сибирской государственной геодезической академии – В.А. Середович, В.А. Калюжин, О.А. Мичкова.

Некоторые наши коллеги по работе над этим проектом до сих пор публикуют материалы, выдавая их за «свои» разработки, причем новые, забыв сослаться на истоки.

Наиболее сложной проблемой в разработке ГИС для проектирования АЛСЗ была формализация оценки продуктивности земель. Эта проблема решена путем создания экспертного метода оценки почвенного плодородия (продуктивности земель) с помощью автоматизированного расчета урожайности культур. Частично мы уже касались этого вопроса в разд. 1.3. Использование данного метода позволяет оценить земли с точки зрения получения возможной урожайности сельскохозяйственных культур (нормативной урожайности) в конкретных агроэкологических условиях [Южаков, Добротворская, 1996, 2003; Каличкин и др., 2002, 2005; Власенко и др., 2003; Разработка и применение..., 2003–2006 гг.].

Агроэкологический потенциал земель выражается через учет биологических требований сельскохозяйственных культур к условиям их произрастания на местности, следовательно использование данного метода оценки земли позволяет более рационально размещать производство растениеводческой продукции и получать максимальный экономический эффект в виде выхода валовой продукции с участка.

Метод оценки качества почв (продуктивности земель) по урожайности культур (назовем его «метод А.И. Южакова») заключается в определении степени значимости отдельных свойств почв (11 показателей) для конкретной культуры в соответствии с ее биологическими требованиями, т.е. учитывается влияние каждого отдельного почвенного показателя на формирование потенциальной урожайности культуры. Значимость каждого почвенного показателя в формировании урожайности выражается в задании ему веса и оптимального значения.

Краткая схема расчета сравнительной продуктивности почв (посредством вычисления урожайности возделываемых культур) состоит из следующих этапов:

- установление каждого почвенного признака на показателях орт. для растений (выражается в долях единицы);
- ранжирование почвенного признака по степени приближения к орт. (присваивается ранг по возрастанию качества);

– установление почвенного признака на «важность» для формирования урожайности культуры (очень важное, средне важное, мало важное);

– определение взвешенной суммы «качеств» почвы;

– ранжирование почв по сумме «качеств» признаков (в результате – ранг взвешенной суммы рангов);

– аппроксимация урожайности культуры к непрерывной кривой ранжирования почвенных объектов.

Одним из преимуществ метода является то, что он освобожден от необходимости использовать хозяйственные отчеты о многолетней урожайности сельскохозяйственных культур, которые применяются в бонитировке почв как критерий объективности балльной оценки.

Поскольку системы земледелия могут быть различного уровня интенсификации, важно провести качественную оценку земель с учетом этих разных уровней. Для этого применялись следующие принципы:

– базовые количественные параметры урожайности культуры определяются агроклиматическим потенциалом географической точки, реализуемый в условиях экстенсивного земледелия на лучшей зональной почве;

– средняя урожайность культуры оценивается полусуммой максимума и минимума, учитывается 95 % варьирования;

– максимальная урожайность культуры при интенсивном земледелии определяется как 80%-й уровень от потенциально возможного (20 % потерь урожайности определяется колебаниями погоды);

– урожайность культуры при нормальных технологиях определяется на параболической кривой путем интерполяции урожайности при экстенсивном и интенсивном уровнях;

– диапазоны варьирования урожайности культуры уменьшаются вдвое на каждом этапе интенсификации земледелия (экстенсивный, нормальный и интенсивный).

Все описанные выше процедуры позволяют равномерно упорядочить оцениваемое множество почв по значениям потенциальной урожайности. За базовую величину принята урожайность пшеницы, обеспеченная природно-климатическими ресурсами территории на лучшей зональной почве. Величина урожайности пшеницы определяется на основе количественного значения продуктивности

земель оцениваемого хозяйства с учетом агроклиматического потенциала при экстенсивном уровне ведения земледелия.

Разработанный А.И. Южаковым метод является экспертным, так как веса и оптимальные значения почвенных признаков для разных культур определяет специалист-эксперт, обладающий обширными знаниями и опытом в области почвоведения, агрономии и статистики. К сожалению, с уходом А.И. Южакова из жизни это направление исследований не получило дальнейшего развития, компьютерная программа не была доведена до коммерческого продукта и тиражирована. Это тем более важно, поскольку именно автоматизированный расчет продуктивности земель (нормативная урожайность культур) является базовой проблемой как агроэкологической, так и кадастровой оценок земель сельскохозяйственного назначения.

Однако в целом «АРМ-землеустроителя» в виде учебной программы распространялся Сибирским физико-техническим институтом аграрных проблем (СибФТИ) в вузах Сибири. В настоящее время этот продукт, но уже под названием «Автоматизированное рабочее место агронома-землеустроителя», можно приобрести за 21–25 тыс. р. (см. сайт: <http://www.sibfti.sorashn.ru/index.php?id=2723>).

Метод А.И. Южакова реализован в виде компьютерной программы «Оценка земель» (алгоритм разработан А.И. Южаковым и С.К. Красноусовой) на примере землепользования ОПХ «Кремлевское» Коченевского района Новосибирской области. Программный продукт состоит из следующих основных блоков: БД почвенной цифровой карты ГИС-MapInfo, а также БД оптимальных значений почвенных характеристик для каждой культуры; БД весовых коэффициентов почвенных характеристик для каждой культуры; БД характеристик культур, содержащая значения фактической минимальной урожайности, биологической максимальной урожайности, коэффициента культуры (показатель пересчета относительной урожайности культуры по урожайности пшеницы); показатель дренированности территории; базовая продуктивность данного землепользования (по урожайности пшеницы); коэффициент увлажнения почв. В окне интерфейса отражаются расчетные урожайности культур при размещении их на тех или иных почвах или комбинациях почв на разных уровнях интенсификации (рис. 49).

Оценка почв для культур на разном уровне интенсификации

Повышение дренажности территории (W1)

Базовая продуктивность

Коэффициент дренажной паша

Урожайность культур на различных почвах (ц/га)

Уровень интенсификации 1 Уровень интенсификации 2 Уровень интенсификации 3

Почва	Паша	Паша	Паша	Паша	Паша	Паша	Паша	Паша	Паша	Паша	Паша
K2r	74	30.41	23.04	26.91	25.69	18.9	17.81	204.3	46.09		34.92
K3r	76	27.49	18.76	24.52	24.5	18.17	13.61	227.2	38.49		31.21
K4r	76	27.48	18.49	24.33	24.09	18.03	13.35	223.7	38.99		30.82
K5r	77	25.7	17.33	22.76	26.69	16.9	11.52	192.8	34.66		28.5
K6r	78	25.48	17.09	22.59	26.28	16.77	10.87	189.4	34.17		28.22
K7r	79	26.64	18.49	23.59	22.5	17.5	12.3	209.2	36.95		29.78
K8r	80	28.93	20.75	24.81	25.14	18.38	14.83	233.1	40.31		31.67
K9r	81	26.8	18.66	23.73	22.79	17.6	12.5	211.3	37.33		30
K10r	82	25.24	16.79	22.37	18.03	16.61	10.56	185.1	32.96		27.88
K11r	83	26.17	17.5	23.16	23.59	17.2	11.71	201.8	35.8		29.14
K12r	84	28.88	21.79	25.96	26.77	18.92	15.1	247.8	42.37		32.83
K13r	85	24.38	15.69	21.58	18.12	16.04	9.43	189.6	31.39		26.85
K14r	86	24.88	16.09	21.86	18.72	16.24	9.83	175.8	32.75		27.89
K15r	87	27.19	18.14	24.87	23.94	17.86	12.96	216.6	38.27		30.63
K16r	88	19.89	13.05	17.49	9.23	13.88	3.81	89.21	25.1		20.31
K17r	89	21.83	12.36	18.45	13.5	14.5	6.45	127.8	25.63		21.36
K17r	90	22.43	13.59	20.86	14.99	14.94	7.27	136.7	27.19		24.29

Рис. 49. Фрагмент таблицы расчета урожайности культур по разновидностям почв, ц/га

Полученные оценки расчетной урожайности культур по почвенным контурам и участкам используются впоследствии для типизации земель и формирования севооборотов.

В то же время в РФ традиционным методом оценки почвенного плодородия является бонитировка почв. Было интересно проверить, насколько результаты расчетов урожайности культур, в частности пшеницы, по методу А.И. Южакова и по методу бонитировки будут различаться. При этом нами было принято, что урожайность пшеницы, обеспеченная природно-климатическими условиями на лучшей зональной почве лесостепи Новосибирской области при экстенсивном уровне ведения сельского хозяйства, может составлять 24 ц/га (100 баллов). Например, для ОПХ «Кремлевское» такая урожайность может быть получена на черноземе выщелоченном среднемощном среднесуглинистом – балл бонитета равен 100. Таким способом каждая почвенная разновидность оценивается баллом бонитета почвы и баллом урожайности культуры. Расчет урожайности пшеницы производится пропорционально величине балла урожайности.

С целью автоматизации расчетов в работе использовалась ГИС версии MapInfo Professional. Структура семантических БД ГИС была разработана таким образом, чтобы существовала возможность в автоматизированном манипулировании информацией о почвенных признаках. БД почвенной карты включала описания трех типов характеристик: 1) идентификационные; 2) количественные и качественные; 3) выходные параметры. К идентификационным характеристикам отнесены номер почвенной разновидности, код согласно классификатору почв Новосибирской области. Ко второму типу отнесены почвенные характеристики – содержание гумуса, мощность гумусового горизонта, физическая глина, степень эрозионной опасности почвы, кислотность и др. К третьему типу данных отнесены сведения о дате составления БД, сведения о почвенных разрезах и др.

Разработанные алгоритмы на языке MapBasic позволили получить результаты сравнительной оценки почвенного плодородия двумя методами – методом бонитировки почв и А.И. Южакова по 90 разновидностям почв, в том числе 17 видам почвенных комплексов. Фрагмент результата расчетов представлен в табл. 21.

Установлено, что среднее расхождение по урожайности пшеницы для всех разновидностей почв хозяйства составляет 0,95 ц/га (в пределах 6 %). Расчетная средняя урожайность пшеницы, полученная путем бонитировочной оценки, 16,87 ц/га, по экспертному методу – 15,93 ц/га.

Сравнение двух методов показало, что они дают близкие результаты. Поэтому оба метода могут использоваться для расчетов статической многолетней продуктивности земель, выражаемой через урожайность сельскохозяйственных культур (например, пшеницы). Для оценки продуктивности земель в динамике требуются дополнительные алгоритмы, учитывающие урожайность культур в зависимости от погоды, размещения в севообороте и применения средств интенсификации.

В дополнение к имеющимся программным продуктам было решено создать собственную программу, интегрированную с ГИС, способную рассчитывать различные категории урожайности сельскохозяйственных культур. Кроме того, ГИС имеет ограничения по вычислительным операциям больших двумерных массивов данных, например расчет климатически обеспеченной урожайности с использованием метеорологических факторов. Поэтому была

Таблица 21

**Результаты оценки продуктивности почв по урожайности пшеницы
[Каличкин, Павлова, 2010]**

Почва	Балл боните- та	Балл по уро- жайно- сти	Урожайность пшени- цы, ц/га			Расхо- жде- ния
			по бо- нити- ровке	по экс- пертно- му	ц/га	%
Серая лесная осолодевшая среднемош- ная тяжелосуглинистая	68	72	17,89	17,25	0,64	3,74
Чернозем выщелоченный среднемош- ный среднегумусный глинистый	92	97	24,21	23,95	0,26	1,09
Чернозем обыкновенный карбонат- ный среднемошный среднегумус- ный тяжелосуглинистый	79	84	20,79	21,61	-0,82	3,80
Лугово-черноземная карбонатная среднемошная малогумусная тяже- лосуглинистая	72	76	18,95	20,51	-1,56	7,62
Лугово-черноземная карбонатная ма- ломошная малогумусная слабосмы- тая тяжелосуглинистая	69	72	18,16	18,41	-0,25	1,37
Черноземно-луговая солончаковатая среднемошная малогумусная	60	63	15,79	15,25	0,44	3,54

разработана программа GRAIN на макроязыке Visual Basic [Каличкин, Павлова, 2009а].

В исследованиях использовались две основные категории урожайности – климатически обеспеченная (КОУ) и действительно возможная (ДВУ). Согласно методическому руководству [Агроэкологическая оценка..., 2005], климатически обеспеченная урожайность ограничивается агрометеорологическими факторами – балансом тепла и влаги в определенные периоды развития растений. Для учета почвенных условий конкретного поля КОУ дифференцируется до уровня ДВУ путем использования коэффициента благоприятствования ($K_{п}$) условиям возделывания культуры. При этом в качестве $K_{п}$ рекомендуется использовать бонитет почвы, выраженный в долях единицы [Агроэкологическая оценка..., 2005].

При проектировании программы были сформированы экранные формы и отчеты с результатами вычислений, которые обеспечивали выполнение запросов данных и удобство работы с электронными картами. Основными модулями программы являются

формирование БД по почвам хозяйства, расчет КОУ и ДВУ зерновых культур, отображение результатов на почвенной карте и карте землеустройства, формирование результатов в отчет (рис. 50).

На начальном этапе при работе с программой GRAIN в диалоговом режиме вводятся исходные данные о хозяйстве: наименование хозяйства, административный район и другие сведения.

Для расчета КОУ зерновых культур, например в хозяйствах Новосибирской области, сформирована БД, содержащая сведения об агрометеорологических ресурсах территории. Территориально-координатная привязка агроклиматических данных осуществлялась в ГИС-MapInfo по реперным метеостанциям. Использовались метеорологические параметры года – осадки и сумма активных температур выше 10 °С за май–июнь, а также величина запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы на начало посева.

Первоначально рассчитывается коэффициент увлажнения территории, затем величина КОУ. В дополнение к этому использовалась «климатическая формула урожая», которая позволяет учитывать циклические изменения климата и величину продуктивности агроландшафтов для различных природно-климатических зон и подзон [Понько, 2006, 2008; Каличкин и др., 2009]. Величина КОУ определяется для условий лесостепи на лучшей зональной почве – черноземе выщелоченном среднесуглинистом. Например, для 2008 г. при сумме осадков за май–июнь 80 мм, сумме



Рис. 50. Программные модули GRAIN

активных температур $\sum t_{v-vf} = 916$ °С коэффициент увлажнения 1,21; расчетная климатически обеспеченная урожайность пшеницы 21,8 ц/га, озимой ржи – 27,8 ц/га. Реальная урожайность пшеницы на опытном поле СибНИИЗиХ составила 18,6 ц/га, озимой ржи – 28,1 ц/га.

После расчета величины КОУ в программе GRAIN формируется почвенная БД. Для этого предусмотрены функции работы с БД: редактирование, перемещение и просмотр записей, удаление и добавление новых записей. Картежами почвенной базы являлись – наименование почвы, «полезный объем почвы» в среднем для метрового слоя, содержание гумуса, реакция почвенного раствора, гранулометрический состав, содержание подвижных элементов питания, степень развития негативных процессов (водная эрозия, засоление). Одновременно формируется цифровая модель землепользования (ЦМЗ), так как именно она является основой информационного моделирования. Осуществляется территориально-координатная привязка созданной БД к цифровой почвенной карте.

В расчетах ДВУ зерновых культур использованы подходы, изложенные в работе И.И. Карманова, Л.С. Булгакова [2007]. Вычисленные значения коэффициентов благоприятствования возделывания культур (K_p) с помощью программы GRAIN представляются в виде долей единицы. Затем рассчитываются величины урожайности зерновых культур (пшеницы, озимой ржи и ячменя) для каждой почвенной разновидности. Результаты расчета ДВУ для почв вносятся в БД цифровой почвенной карты.

Особенностью разработанной автоматизированной оценки продуктивности земель является возможность быстрого пересчета величин урожайности зерновых культур при изменении границ земельных участков.

С целью дальнейшего использования результатов оценки земель при проектировании севооборотов в программе GRAIN на основе методов интегрированной картографии внедрены функции ГИС – работа с картами, выполнение SQL-запросов, отдельные картометрические операции.

Практическая реализация автоматизированной оценки продуктивности земель выполнена на примере землепользования ООО «Салаир» Маслянинского района Новосибирской области.

На территории наиболее распространены серые лесные, темно-серые и светло-серые почвы.

В диалоговом режиме при работе с программой вносились следующие сведения о хозяйстве – наименование, административная принадлежность, затем рассчитывалась величина КОУ. Для данного хозяйства КОУ составила зерновых культур 24 ц/га. Далее на основании почвенных характеристик производился расчет K_p зерновых культур для почв и ДВУ. В табл. 22 приведен фрагмент результатов расчета для трех культур.

Для проверки работы программы GRAIN параллельно были проведены расчеты продуктивности земель по методу А.И. Южакова программой «Оценка земель».

Сравнительный анализ результатов оценки продуктивности почв показал, что величины урожайности культур варьируют в значительных интервалах, при этом размах вариации урожайности, вычисленный с помощью программы GRAIN меньше, чем – программы «Оценка земель» (табл. 23).

Таблица 22

Расчетная ДВУ зерновых культур			
Почва	Урожайность, ц/га		
	пшеница	ячмень	озимая рожь
Темно-серая лесная среднесуглинистая тяжелосуглинистая	19,3	23,3	24,9
Серая лесная маломощная среднесуглинистая	14,6	17,6	18,8
Серая лесная среднесуглинистая среднесуглинистая	17,2	20,7	22,2
Светло-серая лесная среднесуглинистая среднесуглинистая	15,1	18,1	19,5

Таблица 23

Сравнительный анализ результатов оценки продуктивности почв по урожайности зерновых культур, ц/га

Показатель вариации	Пшеница		Озимая рожь		Ячмень	
	1	2	1	2	1	2
Минимальная варианта	10,4	10,8	14,8	13,9	8,1	13,0
Максимальная варианта	21,6	19,9	28,9	25,7	26,5	24,1
Размах вариации	11,2	9,1	14,0	11,8	17,1	11,1

Примечание. Здесь и далее: 1 – результаты программы «Оценка земель»; 2 – результаты программы GRAIN.

Лимиты и размах вариации просты, однако они не отражают существенные черты варьирования, поэтому вычислены средние величины и другие показатели вариации способом условной средней. Для оценки использованы результаты расчета для 34 почвенных разновидностей светло-серых, серых и темно-серых лесных почв. Составлены классовые интервалы, вычислены частоты, условная средняя варианта в вариационном ряду, дисперсия s_x и коэффициент вариации V (табл. 24, 25).

Показатели вариационной статистики подтвердили, что результаты, полученные с помощью программы GRAIN, отличаются меньшим варьированием. Так, квадрат дисперсии (s_x^2) урожайности пшеницы при расчете программой «Оценка земель» равен 12,64, программой GRAIN – 3,52, коэффициент вариации ($V\%$) соответственно равен 23,0 и 12,5.

Таким образом, программа GRAIN оценивает агроклиматические особенности территории хозяйства и рассчитывает КОУ зер-

Таблица 24

Показатели вариации ряда распределения урожайности пшеницы (ц/га)

Классовый интервал	Срединные значения интервалов (x_i)	Частоты (p_i)	Отклонения $a=x_i - A$	$p_i a$	$p_i a^2$
10,8–12,3	10,8	1	-3,9	-3,9	15,21
12,4–13,9	13,4	10	-13,3	-13,3	17,69
14,0–15,5	14,7	12	0	0	0
15,6–17,1	16,6	7	1,9	13,3	25,27
17,2–18,7	17,3	2	2,6	5,2	13,52
18,8–20,3	19,6	2	4,9	9,8	48,02
Сумма		34		11,1	119,71

Таблица 25

Показатели вариационной статистики урожайности пшеницы

Показатель вариации	1	2
Средняя X_{cp}	15,47	15,02
Квадрат дисперсии s_x^2	12,64	3,52
Дисперсия s_x	3,56	1,88
Коэффициент вариации $V, \%$	23,0	12,5

новых культур, а затем с учетом почвенных условий конкретного участка или поля севооборота выполняет расчет ДВУ с учетом почвенных характеристик. Результаты исследований могут применяться при проектировании рационального использования земель.

Особенность разработанного подхода автоматизированной оценки земель состоит в совместном использовании возможностей информационных систем и ГИС, что позволяет производить сложные математические расчеты, выполнять анализ разноплановых данных, а также хранить и предоставлять их на печать. Кроме того, разработанная автоматизированная оценка позволяет быстро выполнить расчет величины урожайности зерновых культур в случае изменения границ земельных участков, валовой продукции с поля севооборота. Данная задача возникает при разработке проекта внутрихозяйственного землеустройства.

4.3. Автоматизированный выбор приема основной обработки почвы

Основная (зяблевая) обработка почвы оказывает существенное влияние на агроэкологическое состояние поля (водно-воздушный и питательный режимы почвы, количество и видовой состав сорняков и вредных организмов, обуславливает эрозионную обстановку) и через это влияет на урожайность культур.

Исследования Сибирского научно-исследовательского института земледелия и химизации сельского хозяйства (СибНИИЗХим) в различных почвенно-климатических условиях Западной Сибири, а также обобщение материалов других НИИ региона показывают, что на зональных землях наиболее эффективна адаптивно-комбинированная система основной обработки почвы в севообороте. Такая система подразумевает применение приемов обработки под конкретные сельскохозяйственные культуры в севообороте не по жесткой схеме, а с учетом фактического агроэкологического состояния земель. Состояние земель к моменту принятия решения о проведении того или иного приема основной обработки формируется в результате уровня агротехники и погодных условий текущего полевого сезона [Власенко и др., 2003а].

Основная (зяблевая) обработка почвы требует больших энергетических затрат, но с другой стороны оказывает определяющее

влияние на агроэкологическое состояние поля (водно-воздушный и питательный режим почвы, количество и видовой состав сорняков, обуславливает эрозионную обстановку) и через это влияет на конечную цель – урожай.

Ресурсосбережение в почвообработке складывается из двух источников: сокращение затрат на обработку и получение дополнительной продукции за счет применения лучшего приема. Оптимизация основной обработки почвы заключается в том, чтобы при минимальных затратах, используя природные ресурсы, получить максимально возможный урожай в соответствии с конкретными природными условиями сельскохозяйственного года и эффективного использования средств интенсификации.

Алгоритм выбора приема основной обработки почвы разработан группой авторов и изложен в рекомендациях [Каличкин и др., 2005]. Его краткое содержание сводится к следующему. Выбор приема осуществляется по результатам диагностики поля севооборота в текущем году после уборки культуры, а также, используя прогноз увлажнения, по комплексу агроэкологических факторов (табл. 26).

Оценка приема основной (зяблевой) обработки осуществляется экспертно относительно каждого фактора по шкале: 5 баллов – лучший прием, 3 – возможный, 1 балл – худший, прочек – не оценивается или может иметь оценку от 1 до 5 баллов в зависимости от других факторов.

Оценка приема относительно одной конкретной комбинации агроэкологических факторов, слагающейся перед основной (зяблевой) обработкой почвы, проводится по формуле:

$$СБ = \frac{\sum БФ}{n},$$

где СБ – средний балл оценки приема, БФ – балл оценки приема по фактору, n – число факторов.

В качестве основных приемов приняты вспашка, глубокое безотвальное рыхление, мелкая плоскорезная и нулевая зяблевые обработки почвы.

На плакорных землях, не подверженных эрозии, выбор приема осуществляется по 7 факторам. С учетом их градаций формируется 194 комбинации агроэкологических факторов, из которых 96 вари-

Таблица 26

**Матрица оценки приемов основной (зяблевой) обработки почвы
по агроэкологическим факторам, балл [Каличкин и др., 2005]**

Фактор	Градация факторов	Приемы			
		В	БР	МП	Н
<i>Плакорные земли (не подверженные ветровой и водной эрозии)</i>					
Предшественники	Однолетние культуры	–	–	–	–
	Многолетние травы	5	1	1	1
Засоренность	Малозасоренные или применение химвполки	–	–	–	–
	Засоренные многолетними сорняками	5	5	1	1
	Засоренные малолетними и многолетними сорняками	5	1	1	1
Свойства пахотного слоя почвы	Оструктуренные не заплывающие	1	1	3	5
	Заплывающие, солонцеватые	1	5	3	1
Запасы влаги в почве	Повышенные	1	1	3	5
	Пониженные	1	5	3	1
Запасы нитратов в почве	Повышенные	1	1	3	5
	Пониженные	1	5	3	1
Осенне-зимне-весеннее увлажнение	Повышенное	1	1	3	5
	Пониженное	1	5	3	1
Увлажнение вегетационного периода	Повышенное	1	5	3	1
	Пониженное	1	1	3	5
<i>Дефляционно опасные (подверженные ветровой эрозии)</i>					
Предшественники	Однолетние культуры	–	–	–	–
	Многолетние травы	5	1	1	1
Засоренность	Малозасоренные или применение химвполки	1	1	3	5
	Засоренные многолетними сорняками	1	5	1	1
	Засоренные малолетними и многолетними сорняками	1	3	5	1
Гранулометрический состав	Супесь и легкий суглинок	1	1	5	5
	Средний и тяжелый суглинок	1	5	3	3
Солонцеватость	Незасоленные	–	–	–	–
	Солонцеватые	1	5	1	1
<i>Эрозионно опасные (подверженные водной эрозии)</i>					
Предшественники	Однолетние культуры	1	5	1	1
	Многолетние травы	5	1	1	1

Примечание. В – вспашка, БР – безотвальное рыхление, МП – мелкая плоскорезная, Н – нулевая.

антов после многолетних трав и 34 варианта после однолетних культур оцениваются по одному фактору (первому), засоренные малолетними или многолетними сорняками и заплывающие солонцеватые почвы – по двум факторам. Земли после однолетних предшественников, засоренные многолетними сорняками (32 варианта комбинаций), также не требуют оценки приема обработки почвы относительно других пяти факторов. Такие земли подлежат глубокому безотвальному рыхлению или вспашке с глубоким подрезанием корневой системы.

После малозасоренных однолетних предшественников или планируемом применении гербицидов (32 варианта комбинаций) прием зяблевой обработки оценивается с учетом пяти факторов, из которых три характеризуют фактическое состояние почвы перед обработкой, а два – прогнозные.

На дефляционно опасных землях оценка приемов основной (зяблевой) обработки проводится по четырем факторам. Всего формируется 24 варианта комбинаций агроэкологических факторов, из которых в 18 случаях требуется вспашка или безотвальное рыхление после многолетних трав и на солонцеватых почвах; в шести случаях проводится оценка трех приемов мульчирующей обработки почвы, в том числе нулевая зябь. Выбор приема обработки почвы ведется по фактическому состоянию земель независимо от прогноза погодных условий.

На эрозионно опасных землях дифференциация приемов зяблевой обработки почвы зависит от предшественников. После многолетних трав проводится вспашка (полосами), после однолетних культур – глубокое безотвальное рыхление.

Для осуществления выбора приема обработки почвы в автоматизированном режиме была разработана компьютерная программа «ОБРАБОТКА» на макроязыке программирования Visual Basic [Каличкин, Павлова, 2009б; Каличкин и др., 2011]. Основной особенностью программы является использование методов интегрированной картографии, основанных на реализации специального механизма управления объектами OLE (OLE automation), а также механизма динамического обмена данными DDE (Dynamic Data Exchange). Эти методы позволяют использовать геоинформационное моделирование при работе с электронными картами. В программу по выбору приемов обработки почвы были внедрены основные функции ГИС – открытие электронной карты, измене-

ние масштаба карты, просмотр семантической информации из базы данных, выбор объекта на карте и др.

В работе использовали ГИС MapInfo. При решении поставленной задачи возникает необходимость в создании ГИС территории, описывающий изучаемый объект во внутренних БД. Эта проблема решалась созданием цифровой модели землепользования [Каличкин, Ким, 2004; Ким, 2004]. Основными электронными картами служили топографическая, землеустройства и рельефа, которые использовали для вычисления площадей рабочих участков и построения карты уклонов (рис. 51).

При разработке структуры БД учитывались возможности не только визуального отображения характеристик земельного участка, но также возможности интегрирования исходных данных и результатов вычислительных операций в едином техническом комплексе ГИС и среды программирования Visual Basic, а также других вспомогательных приложениях (например, Microsoft Word, Excel). В структуре БД ГИС выделены три основные категории параметров: данные, характеризующие земельный участок по пространственным показателям (площадь, периметр); идентификационные (номер поля, севооборота, рабочего участка), агроэкологические (сельскохозяйственная культура, предшественник и дру-

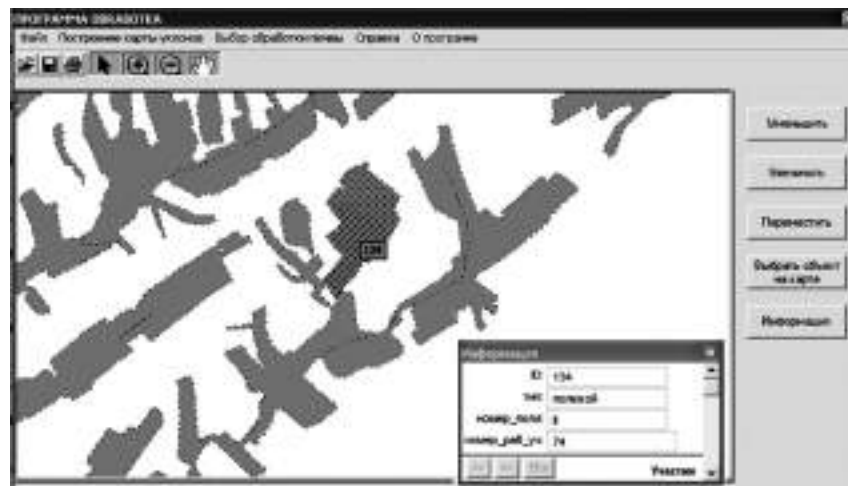


Рис. 51. Основные функции ГИС для работы с электронными картами в программе «ОБРАБОТКА»

гие, а также уклон местности). ГИС позволяют легко перестраивать семантические базы под конкретные специальные задачи, поэтому дальнейшее наполнение семантической базы при необходимости не представляет большого труда.

Использование методов интегрированной картографии позволило вычислять уклоны местности для земельных участков в программной среде «ОБРАБОТКА», что дает возможность косвенно оценить степень развития эрозионных процессов. С этой целью использовали одну из основных технологий геоинформационного моделирования – оверлейное наложение электронных карт рельефа и землеустройства.

Ниже кратко описан интерфейс программы по выбору приемов обработки почвы. После запуска программы активируется главное окно. При выборе пункта меню программы «Файл/Открыть» открывается электронная карта землеустройства. При этом активируются кнопки работы с картой. Кнопка «Уменьшить» и «Увеличить» используется при изменении масштаба карты. Кнопка «Выбрать объект на карте» позволяет пользователю выбрать необходимый земельный участок. При выборе кнопки «Переместить» активируется функция ГИС – перемещение электронной карты. Для просмотра семантической информации о земельном участке необходимо использовать кнопку «Информация». Для удобства работы с программой «ОБРАБОТКА» разработана панель инструментов с изображением соответствующих кнопок работы с картой.

Для вычисления уклонов необходимо использовать меню программы «Построение карты уклонов». Для этих целей используют методы геоинформационного моделирования – оверлейные операции. Выбор данного меню программы позволяет вычислять численные значения уклонов в относительных единицах, а также значения углов наклона рельефа на участке.

Для выбора приема обработки почвы используют меню программы «Выбор приема обработки», который содержит три подменю «Выбор приема обработки для неэродированных земель», «Выбор приема обработки почвы для дефляционно опасных земель», «Выбор приема обработки для эрозионно опасных земель» (рис. 52).

Затем в диалоговом режиме устанавливаются агроэкологические параметры. Если земельный участок относится к неэрозионно опасным землям, пользователем устанавливаются параметры

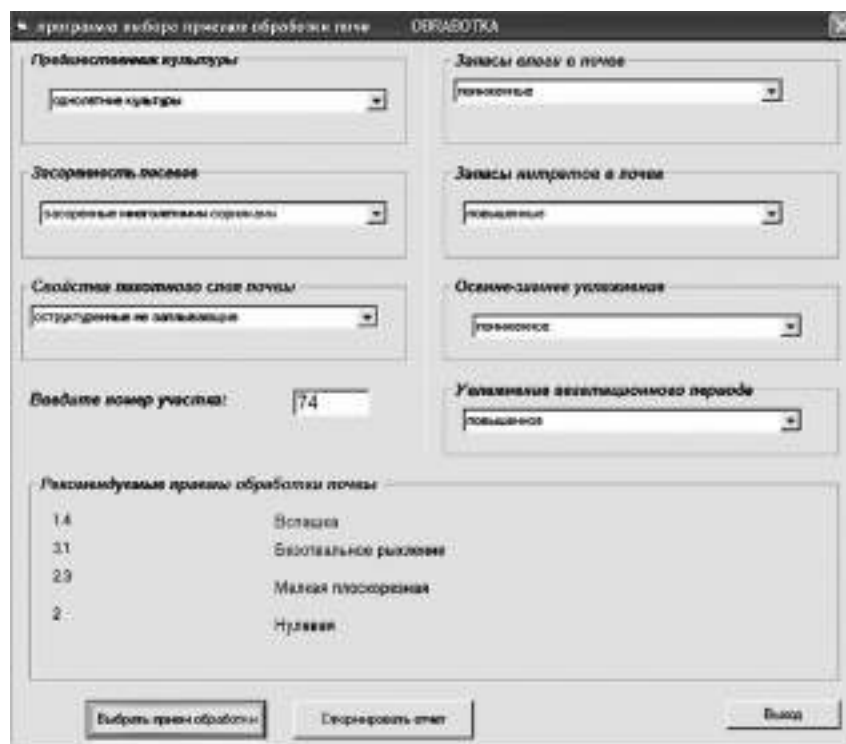


Рис. 52. Диалоговое окно работы программы «ОБРАБОТКА» (для неэродированных земель)

по предшественникам, степени засоренности посевов, свойствам пахотного слоя почвы, запасам влаги и нитратов, увлажнению осенне-зимне-весеннего периода и за вегетацию. В случае участка, подверженного ветровой эрозии, пользователь должен ввести информацию по предшественникам, солонцеватости, засоренности, гранулометрическому составу. В случае проявления водной эрозии пользователь должен ввести информацию только по предшественникам.

После задания для земельного участка параметров агроэкологических факторов выдается решение в виде совокупной оценки в баллах для каждого приема обработки почвы. Например, для участка № 74 при заданных параметрах наиболее вероятным является безотвальное рыхление (3,1 балла, см. рис. 2). Наименее приемле-

мым в этом случае будет вспашка, получившая наименьшую оценку – 1,4 балла.

Для отображения результатов работы программы предусмотрено меню, позволяющее сформировать отчет в Microsoft Word.

Таким образом, разработанная программа в ГИС-среде в диалоговом режиме позволяет анализировать основные агроэкологические факторы и условия – засоренность земель, свойства пахотного слоя почвы, запасы влаги, запасы нитратов в почве, прогнозируемое осенне-зимне-весеннее увлажнение и увлажнение вегетационного периода, влияющие на эффективность приема основной обработки почвы. Программа помогает агроному-технологу принять взвешенное решение по выбору наиболее эффективного приема. Следует, однако, подчеркнуть, что окончательное решение остается за человеком, поскольку не все факторы и условия можно достаточно достоверно учесть и прогнозировать.

4.4. Автоматизированная оценка технологических свойств земель

Существует еще один аспект, относящийся к производству продукции растениеводства и накладывающий большой отпечаток на ее себестоимость. Это так называемое производственное «удобство» пашни, оцениваемое как технологические свойства земельного участка в Государственной кадастровой оценке (ГКО) земель сельскохозяйственного назначения.

К сожалению, агрономы (в том числе и ученые) уделяют мало внимания этому аспекту при размещении посевов и планировании производства, например, зерна. Эти вопросы напрямую связаны также с землеустройством и формированием севооборотов. Оценка технологических свойств земель проводится в системе Государственного кадастра, но она слабо, а точнее практически, не интегрирована с сельскохозяйственным производством. Между тем эта система могла бы заменить разрушенную сеть Гипроземов.

Нами разработана модель зависимости затрат на производство зерна от технологических свойств пашни (земель). Зависимость выражается в виде двух пересекающихся линий, напоминающих крест (рис. 53). «Технологический крест», как мы его назвали, заключается в том, что чем сложнее технологические свойства



Рис. 53. Модель зависимости затрат на производство зерна от технологических свойств земель

(рельеф, контурность, энергоемкость, удаленность), тем выше технологический коэффициент (ТК), больше затрат на производство единицы продукции и наоборот.

Например, наименьший ТК получен для плакорных зональных земель лесостепи (1,1), соответственно на 100 р. затрат здесь можно произвести 2,05 ц зерна/га. На солонцовых землях этот коэффициент равен 1,9, а производство зерна на 100 р. затрат составит 1,18 ц/га [Каличкин, 2012].

Внутрихозяйственная оценка земель предусматривает определение индекса технологических свойств земельных участков. Физические значения технологических свойств для конкретного объекта оценки учитываются в виде коэффициентов или баллов, а также долей единицы [Махт, Пученко, 1990; Валиев, 2002; Методические указания..., 2010; Сапожников, Носов, 2011; Сапожников, Табакова, 2013].

Для определения технологических свойств земельных участков была разработана технология, основанная на использовании ГИС MapInfo и авторской программы OtcencaTex, реализованная

на языке MapBasic (свидетельство № 2007614433 [Зверев и др., 2003; Ким, 2003, 2004, 2004а; Ким, Каличкин, 2003; Каличкин, Ким, 2004; Каличкин, Павлова, 2006, 2008]).

Программа OtsenkaTex позволяет в автоматизированном режиме вычислять показатели технологических свойств земельных участков (баллы энергоемкости, контурности и каменистости почв, наклон рельефа земельного участка, коэффициент рельефа, наклон рельефа по маршруту следования, внутривладельческое местоположение земельного участка), интегральный показатель технологических свойств (индекс технологических свойств) и величину дифференциального рентного дохода, связанную с затратами на возделывание сельскохозяйственных культур, а также кадастровую стоимость земельного участка.

Апробация программы проведена на примере землепользования ОПХ «Кремлевское» Коченевского района Новосибирской области. Общая площадь хозяйства более 17 тыс. га, из которых 14,6 тыс. га – сельскохозяйственные угодья, в том числе пашня занимает 11,5 тыс. га. Земли хозяйства расположены на слаборасчлененной пологоувалистой части Приобского плато, сложенного лессовидными карбонатными суглинками со значениями абсолютных высот 150 м. Абсолютные высоты наиболее плоской, заболоченной и залесенной восточной части хозяйства ниже на 10–15 м.

Почвенный покров территории разнообразен и представлен простыми и сложными сочетаниями автоморфных, полугидроморфных и гидроморфных почв, а также их комплексами. На территории ОПХ встречается более 30 типов и подтипов почв.

Энергоемкость почв оценивается по сравнительным затратам энергии на основную обработку и характеризуется их физическим состоянием – плотностью, связностью, обусловленными гранулометрическим составом (основной фактор), засоленностью, увлажнением и глубиной обработки. Она измеряется удельным сопротивлением плуга или других орудий при глубокой обработке почв. За эталонные, 100-балльные условия энергоемкости принято удельное сопротивление отвального плуга при вспашке стерни старопашотных среднесуглинистых черноземных почв на глубину 20–22 см, равное в этих условиях 0,50 кгс/см². При оценке энергоемкости конкретных почв учитываются их конкретные свойства [Технические указания..., 2000]. При этом рекомендуется исполь-

зовать значения баллов энергоемкости почв из второго тура кадастровой оценки (оценка в субъектах РФ и земельно-оценочных районах).

Оценка энергоемкости почв участка производится путем использования соответствующей таблицы БД ГИС, содержащей сведения о значениях энергоемкости почв. Программа вычисляет энергоемкость (Бэп) почв для конкретного участка с учетом площади распространенных в его пределах почвенных контуров, каждый из которых характеризуется своими показателями сопротивления почвообрабатывающим орудиям.

Предложенный способ оценки энергоемкости основан на определении средневзвешенного балла в зависимости от площади той или иной почвы на участке. Это позволяет учесть долевое участие разновидностей почв и более объективно оценить энергоемкость участка.

В табл. 27 приведен фрагмент данных оценки технологических свойств рабочих участков. Так максимальный балл энергоемкости рассчитан для черноземно-луговой солончаковой среднемошной среднегумусной глинистой почвы (участок № 10).

Следует отметить, что балл энергоемкости косвенно отражает агрофизические свойства почв. Так, на участке под № 6 распространены почвы, обладающие меньшим сопротивлением почвообрабатывающим орудиям в сравнении с другими рассматриваемыми участками.

Контурность полей и рабочих участков севооборотов в ГКО оценивается визуально по трем степеням сложности. При этом оп-

Таблица 27
Данные оценки технологических свойств рабочих участков в ОПХ «Кремлевское»

Номер рабочего участка	Балл энергоемкости, Бэп	Балл контурности, Бк	Коэффициент каменистости, Кк	Коэффициент наклона участка, Кр	Внутрихозяйственная удаленность, Р _і км	Коэффициент группы дорог, Кгд	Коэффициент наклона маршрута, Км	Индекс технологических свойств, Ит _і
3	105	100	1,0	1,02	3,85	1,01	1,00	1,06
6	88	79	1,0	1,00	8,07	1,05	1,00	1,20
10	122	100	1,0	1,02	8,38	1,01	1,01	1,07
13	106	100	1,0	1,02	6,43	1,01	1,00	1,04
17	115	100	1,0	1,00	5,54	1,01	1,00	1,06
20	97	93	1,0	1,02	9,74	1,03	1,00	1,09

оптимальным принимается участок прямоугольной формы в 100 га (100 баллов контурности). Применение данного способа в оценке контурности становится проблематичным, если в хозяйстве имеется большое число рабочих участков сложной конфигурации. Кроме того, используемый в ГКО способ допускает субъективность в оценке степени сложности конфигурации рабочего участка.

Разработанный нами способ расчета балла контурности в ПО *OtcenkaTex* позволяет оценивать все участки землепользования в автоматизированном режиме с применением ГИС-технологий. Геоинформационные технологии позволяют вычислить длину и ширину участка, коэффициент гона и записать их значения в атрибутивные БД.

Суть оценки контурности рабочих участков сводится к вычислению коэффициента гона и соответствующего ему балла контурности. При этом оптимальным соотношением длины рабочего участка к его ширине в сельскохозяйственном производстве принято отношение 1,33. В результате оценки контурности участков получены следующие результаты: участки под № 3, 10, 13, 17 имеют балл контурности 100, что свидетельствует об их правильной прямоугольной форме. Участки № 6 и 20 неправильной формы имеют балл контурности 88 и 97 соответственно (см. табл. 27).

Коэффициент каменистости (Кк) почв на участке определяется по среднему количеству камней в верхнем пахотном слое почвы. На территории Западной Сибири каменистость почв практически отсутствует, поэтому при работе с программой *OtcenkaTex* по умолчанию коэффициент присваивается равным 1,0. Значение коэффициента каменистости может быть изменено в БД ГИС путем редактирования атрибутивной таблицы земельных участков. В нашем случае все участки землепользования имеют Кк, равный 1,0, поэтому для заполнения таблиц БД ГИС показателями каменистости рабочих участков используются стандартные функции ГИС *MapInfo*: по каждому участку, для всех полей или с использованием географического запроса выборкой по конкретным номерам рабочих участков и полей севооборотов. На рис. 54 приведен пример использования функции «Обновить таблицу» для заполнения атрибутивной таблицы рабочих участков сведениями о каменистости почв.

Важным технологическим свойством земель сельскохозяйственного назначения является показатель наклона рельефа в пределах



Рис. 54. Использование функции ГИС «Обновить таблицу»

рабочего участка. Для автоматизированного вычисления показателя первоначально мы решили создавать карту характерных наклонов рабочих участков, при оверлейном наложении цифровой карты рабочих участков и карты рельефа территории. Линия характерного наклона рельефа для участка создавалась в виде полилинейных геометрических примитивов карты в направлении характерного наклона рельефа на рабочем участке. На основании пересечения линии характерного наклона с горизонталями местности вычислялось превышение (м) и горизонтальное проложение линии характерного наклона (м), угол наклона рельефа на участке и соответствующий коэффициент рельефа (рис. 55).

Недостатком данного способа вычисления коэффициента рельефа является трудоемкость, связанная с созданием линий характерного наклона рельефа для участков. Предложен другой способ вычисления K_r , который определяется при процедуре оверлейного наложения карт рабочих участков и рельефа территории. Оценка рельефа для земельного участка производится путем вычисления коэффициента наклона рельефа, который

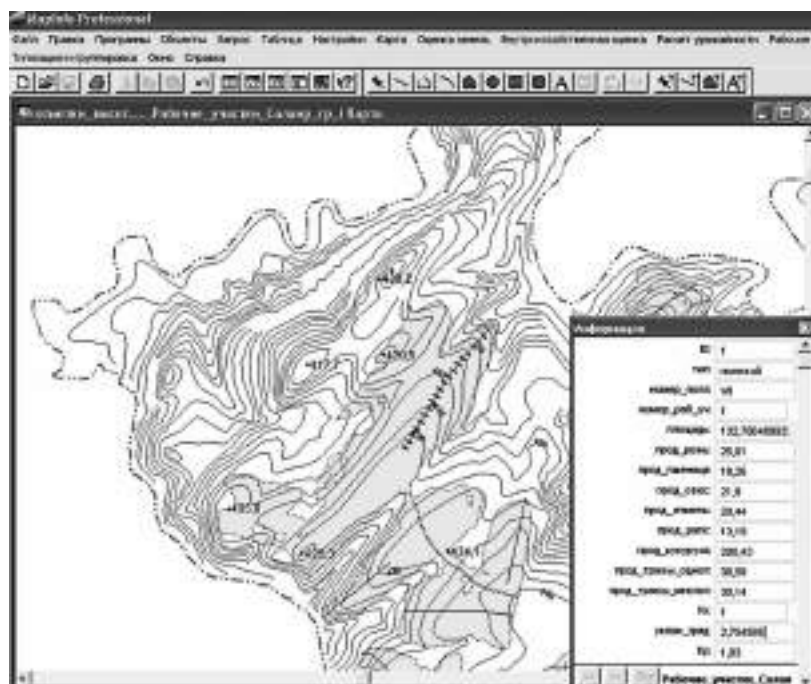


Рис. 55. Фрагмент карты с вычисленными показателями наклона рельефа рабочего участка

вычисляется в ходе анализа цифрой карты углов наклона и карты участков. В границах поля севооборота изменение углов крутизны ската может варьироваться в зависимости от условий местности, поэтому для земельного участка с помощью программы OtsenkaTex вычисляется средний наклон рельефа, соответствующий ему показатель за наклон. Предложенный способ определения коэффициента рельефа позволяет автоматизировать процесс, делать его экономичным по трудовым ресурсам.

В результате определения K_p по земельным участкам были получены следующие результаты: на участках под № 3, 10, 13, 17, 20, где угол наклона рельефа составляет $1-3^\circ$, K_p равен 1,02. На участке № 6 угол наклона рельефа не превышает 1° , поэтому коэффициент рельефа для этого участка принимается равным 1,0 (см. табл. 27).

При внутривозвратной оценке земель не менее важным технологическим свойством является внутривозвратная уда-

ленность объекта (P_i) от баз снабжения и производственного центра. При оценке местоположения земельных участков учитываются расстояние и дорожные условия до баз материально-технического снабжения, предприятий обслуживающих сельскохозяйственное производство, внутрихозяйственных центров. Местоположение земельных участков является относительным и характеризуется изменчивостью, связанной с изменением границ участков, сокращением площади пахотных земель. Влияние местоположения объектов оценки на эффективность производства проявляется прямо и косвенно. Прямое влияние местоположения связано с расходами при реализации сельскохозяйственной продукции, потерями качества и количества сельскохозяйственной продукции. Косвенное влияние местоположения связано со специализацией хозяйств. Местоположение объекта внутрихозяйственной оценки характеризуется не только удаленностью от хозяйственных центров, но и такими факторами, как вид транспорта, обслуживающего внутрихозяйственные перевозки, и качеством дорог. При вычислении интегрального показателя технологических свойств земельных участков предлагается вводить коэффициент дорожных условий. Это позволит учесть дорожные условия транспортировки грузов, качество дорог и наклон маршрута от земельного участка до производственного центра хозяйства [Махт, Пученко, 1990; Ким, 2004; Каличкин, Ким, 2004; Каличкин, Павлова, 2006, 2008].

Для определения внутрихозяйственного местоположения земельных участков с помощью ГИС создается карта дорог с атрибутивной таблицей, включающей сведения о классе и группе дорог и типе реализуемой сельскохозяйственной продукции. Дальнейшее использование карты дорог связано с поиском кратчайшего маршрута и определением угла наклона рельефа по маршруту следования и коэффициента. На карте маршрутов линейными объектами отображаются маршруты от участков до производственных центров хозяйства вдоль прилегающих дорог [Ким, 2004; Каличкин, Ким, 2004; Каличкин, Павлова, 2006, 2008]. Атрибутивная таблица карты маршрутов содержит сведения об отметке начала и конца маршрута, протяженности маршрута, коэффициенте дорог, коэффициенте наклона маршрута. Отметки начала и конца маршрута вносятся в БД при оверлейном наложении карты маршрутов и рельефа. Протяженность и коэффициент наклона маршрута вы-

числяются автоматически с помощью функций ГИС при оверлейном наложении карты участков и карты маршрутов.

Коэффициент дорожных условий (Кд) определяется в зависимости от характеристики дорог (дороги с асфальтовым покрытием, грунтовые, гравийные и разбитые с глубокой колеей), вида транспорта (автомобиль, трактор с прицепом) и представляет собой произведение коэффициентов показателя группы (качество) дорог и рельефа по маршруту следования [Махт, Пученко, 1990]:

$$K_d = K_{гд} \cdot K_m,$$

где Кд – показатель дорожных условий транспортировки грузов; Кгд – показатель групп дорог; Км – коэффициент рельефа по маршруту следования.

Показатель групп дорог вносится непосредственно в атрибутивную таблицу карты рабочих участков с помощью стандартных функций ГИС с помощью пространственного запроса или посредством функции получения информации об объекте. При этом категория и соответствующий коэффициент дорожных условий определены в соответствии с имеющимися картографическими материалами, на которых специальными условными знаками отображены внутрихозяйственные проезды – дороги грунтовые и с покрытием, шоссейные.

Существовавший способ вычисления (Км) трудоемкий и основывался на использовании графика заложений горизонталей топографических планов, поэтому нами разработан автоматизированный способ. Суть способа заключается в оверлейном наложении нескольких тематических карт: рабочих участков, маршрутов и ЦМР. С помощью OtcenkaTex вычисляются коэффициенты рельефа по маршруту следования и записываются в соответствующее поле таблицы карты рабочих участков. Способ позволяет учесть особенности рельефа территории по маршруту следования от земельного участка до производственного центра хозяйства (рис. 56).

Для определения внутрихозяйственной удаленности участка от производственного центра хозяйства возможно использование программ сетевого анализа. Имеются специальные программные пакеты, позволяющие в ГИС MapInfo производить построение сети, поиск кратчайшего пути. Одним из решений может быть мо-

- временное закрытие сегмента без перестройки графа сети (например ремонт);
- запрет поворотов;
- запрет на проезд определённых видов транспорта (габариты, тоннаж, тип и т.п.);
- настройка библиотеки различных транспортных средств.

Для решения задач сетевого анализа можно использовать также разработку Ю.Б. Бернштейна [2002]. Основной идеей этой разработки является использование библиотек динамической компоновки (DLL) для ГИС-оболочек, работающих в операционной среде Windows и снабженных встроенным макроязыком. Достоинством разработанного Ю.Б. Бернштейном подхода является использование библиотеки в любой ГИС, поддерживающих функции вызова из DLL (Dynamic Link Library – динамически компокуемая библиотека). Библиотека Snet.DLL используется для построения транспортной сети и поиска в ней кратчайшего маршрута.

Наиболее оптимальным вариантом для поиска кратчайшего пути с помощью ГИС MapInfo является использование приложения RouteFinder, предназначенного для решения задач поиска кратчайшего пути. С помощью RouteFinder возможно решить следующие задачи:

- построение графа дорожной сети;
- вычисление маршрута из одной точки в другую (с любым числом промежуточных точек);
- использование динамической сегментации в процессе поиска кратчайшего пути;
- нахождение оптимального маршрута;
- построение зон транспортной доступности;
- создание матриц расстояний;
- идентификация и устранение топологических ошибок в дорожной сети.

По результатам работы программы OtсenkaTex получены данные о внутрихозяйственной удаленности рабочих участков от производственного центра хозяйства (см. табл. 27).

После оценки технологических свойств земельных участков: баллов энергоемкости почв, каменистости, контурности полей, наклона рельефа рабочего участка, внутрихозяйственного местоположения объекта оценки, коэффициентов группы дорог и наклона маршрута, вычисляется совокупный интегральный

показатель технологических свойств земельного участка – индекс технологических свойств (I_{ii}) по формуле

$$C_{ii} = \frac{(D_{ЭТ} \cdot z_{Э} + (D_{ЗТ} - D_{ЗЭ}) \cdot 100) \cdot ж_p \cdot ж_k}{D_{ЭТ} \cdot z_k} + \frac{C_T (P_i - P_{ХОЗ}) ж_d}{D_{ЭТ} \cdot z_0 \cdot H_0},$$

где $B_{ЭП}$ – энергоёмкость почв, балл; B_k – контурность рабочих участков, балл; K_p, K_k – наклон рельефа и каменистость рабочих участков, коэффициенты; $D_{ЗЭ}$ – доли затрат, зависящие от энергоёмкости почв; $D_{ЗТ}$ – доли затрат на технологические свойства; P_i – расстояние от рабочего участка до производственного центра, склада, км; $P_{ХОЗ}$ – среднее расстояние от всех рабочих участков до производственного центра, км; C_T – затраты на перевозку 1 т/км растениеводческой продукции (для Новосибирской области равно 2,5 р./((т · км) по ценам 2004 г.); z_0 – базовые оценочные затраты, р./га; H_0 – минимально необходимый для воспроизводства нормативный коэффициент рентабельности по отношению к затратам. На момент создания программы был равен 1,07; K_d – коэффициент дорог.

Программа *OtcenkaTex* в автоматизированном режиме вычисляет совокупный интегральный показатель технологических свойств земельного участка (I_{ii} ; см. табл. 27). Индекс технологических свойств земельного (рабочего) участка может использоваться в последующих расчетах экономической эффективности проектируемых севооборотов, а также вычисления показателей кадастровой стоимости земель сельскохозяйственного назначения посредством учета дифференциального дохода, обусловленного технологическими свойствами.

Следует заметить, что первый тур ГКО земель сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации проведен в 2000–2001 гг. силами гипроземов в большинстве субъектов. Научно-методическое руководство работами в европейской части страны осуществлялось РосНИИземпроектом (ныне ФГУП «Госземкадастръемка» – ВИСХАГИ им. П.Р. Поповича), в азиатской – Сибирским филиалом ФГУП «ФКЦ «Земля», которым было разработано также программное обеспечение [Носов и др., 2006; Сапожников, Носов, 2011, 2011а].

В 2002 г. специалистами РосНИИземпроекта совместно с ФГУП ФКЦ «Земля» подготовлен первый вариант Методических

рекомендаций по государственной кадастровой оценке земель сельскохозяйственного назначения (утверждены Росземкадастром 23 мая 2002 г.). Следующие Методические рекомендации были утверждены в 2005 г. (приказ Минэкономразвития № 145 от 4 июля 2005 г.). В 2006 г. выполнен II тур оценки земель или актуализация показателей кадастровой стоимости 2000 г. Новые (очередные) Методические указания по государственной кадастровой оценке земель утверждены в 2010 г. (приказ Минэкономразвития России № 445 от 20 сентября 2010 г.) [Методические указания..., 2010]. С 2011 г. начаты работы III тура [Сапожников, Носов, 2011а].

С 2010 г. кадастровая оценка в соответствии с Методическими указаниями имеет ряд существенных различий от предыдущих. В этом, в частности, проявилось значительное сближение с агроэкологической (агрономической) оценкой земель. Вместо двухэтапной организации работ: субъект РФ и земельный участок, предложен одноэтапный – только земельный участок [Государственная кадастровая..., 2012]. Внесены и другие изменения, в частности вместо анализа фактических данных за последние годы (3–5 лет) об урожайности культур и затратах на их возделывание предлагается использование показателей нормативной урожайности (исходя из свойств почв) и нормативных затрат, получаемых на основе технологических карт.

Эти и другие нововведения в методических подходах сопровождаются коренными изменениями в технологии выполнения земельно-оценочных работ. В III туре оценки исполнители работ не обеспечиваются, как это происходило ранее, централизованно разработанными Техническими указаниями, специальным программным обеспечением, типовой структурой отчета об оценке и другими нормативно-методическими материалами. При этом позиция Минэкономразвития и Росреестра заключается в том, что каждая саморегулируемая организация оценщиков вправе разрабатывать и использовать свои технические указания и программные продукты или проводить расчеты без них.

В настоящее время кадастровая оценка земель осуществляется на основе принятого 3 июля 2016 г. Федерального закона «О государственной кадастровой оценке» № 237-ФЗ. Этот документ начал действовать с 01.01.2017 г., он закрепил за государственными службами монополию на определение кадастровой стоимости участ-

ков. ФЗ определяет полномочия госслужащих при проведении оценки, ее порядок и механизм.

4.5. Автоматизированное проектирование севооборотов

Ключевую роль при рациональной организации территории землепользования выполняют севообороты. Правильно спроектированный и последовательно осуществленный севооборот позволяет не только предотвратить деградацию почв, но и уменьшить уровень засоренности посевов и распространение вредителей. Как правило, это отражается на урожайности культур и качестве готовой продукции [Кирюшин, 1996].

Традиционно проектирование севооборотов в системе Росгипрозема выполнялось на бумажном носителе и устанавливалось проектом внутрихозяйственного землеустройства. Основными методами проектирования и подбора конструкции севооборота являлись экономико-математические. С развитием средств вычислительной техники большое распространение получили информационно-справочные и информационно-вычислительные системы. Их применение связано в основном с качественной оценкой земель, расчетом доз удобрений, ведением технических паспортов полей и др. [Информационно-справочные системы..., 2002; Агроэкологическая оценка..., 2005]. Геоинформационные технологии и системы автоматизированного проектирования (САПР) используются при разработке проектов противоэрозионной организации территории, размещения защитных лесных полос, моделирования рационального использования и охраны земельных ресурсов и др. [Волков, 2002; Ефимова, 2011; Стеклова, Федотова, 2014; Куракпаев, Машанов, 2016].

Нами осуществлена разработка подходов к автоматизированному проектированию севооборотов с применением методов геоинформационного моделирования. Ключевым моментом процесса моделирования является использование ГИС, который позволяет производить покомпонентный анализ, строить прогнозные оценки развития явления или процесса.

Под геоинформационным объектом мы понимаем всю совокупность базовой информации о территории землепользования, потенциально необходимой для решения поставленной задачи. Геоинформационный объект совпадает по содержанию с ГИС-про-

ектом землепользования и рассматривается как исходная основа, инвариант последующих преобразований, порождающих новую информацию при моделировании.

Особенность использования ГИС для целей проектирования севооборотов заключается в двух взаимосвязанных аспектах: создание картографических моделей (формирование топографической основы, разнообразных тематических карт) и структурный анализ картографических образов.

На начальном этапе проектирования севооборотов создавалась исходная картографическая основа, реализуемая в ГИС в виде цифровой модели землепользования (ЦМЗ; см. раздел 2.4). Более подробно процесс формирования ЦМЗ и баз данных ГИС рассмотрен в работах [Калюжин и др., 2003; Каличкин, Павлова, 2006]. В результате в ГИС посредством унификации и структуризации первоначальных геоданных образуется информационная модель, при работе с которой посредством геоинформационного анализа создается качественно новая информация, позволяющая принимать конкретные решения.

В основе рационального размещения культур по территории землепользования лежит агроэкологическая оценка земель. Для осуществления агроэкологической оценки земель с помощью ГИС предлагается использовать более 20 электронных тематических карт-слоев [Агроэкологическая оценка..., 2005]. Несомненно, что такое количество информации дает достаточно объективную качественную оценку территории землепользования, однако не решает проблемы формализации расчетов количественных параметров продуктивности земель и оценки проектируемых севооборотов. Кроме того, в условиях Сибири картографический материал по характеристике землепользования довольно скуден и не дает возможности создать такое количество электронных карт.

В связи с этим в СибНИИЗиХ агроэкологическая оценка земель осуществлялась путем расчета урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от почвенных условий. Была создана экспертная система оценки сравнительной продуктивности почв (см. разд. 4.2).

После качественной оценки почв производится группировка рабочих участков в типы земель. Типизация земель осуществляется с помощью пакета статистического и графического анализа данных Statistica (рис. 57). Для типизации земель применяется кластерный

анализ. При этом в единые кластеры объединяются рабочие участки с близкими свойствами для возделывания культуры или группы культур. Типы земель затем отображаются на электронной карте землепользования. В качестве исходных данных для анализа используются почвенные характеристики из БД цифровой почвенной карты (число которых может быть различным в зависимости от того, какие характеристики существенны для данного хозяйства. В данном примере использованы материалы на землепользование ОПХ «Кремлевское») и веса каждой из характеристик [Каличкин и др., 2005; Разработка и применение..., 2003–2006].

После определения числа групп типизации осуществляется разбиение почв на заданное число групп по евклидовым расстояниям. Полученные данные записываются в txt-файлы.

В программном продукте разработан интерфейс для экспорта данных по типизации земель и их запись в соответствующую таб-

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	H	Gt	L	Ph	PkO	MGR	Ca	Mg	Na	Gum	Lug
1	20.00	31.20	20.70	6.70	16.98	3.42	15.74	1.24	0.00	1.98	6.00
2	20.00	48.00	29.80	6.50	25.00	4.50	20.00	1.40	0.00	3.84	6.00
3	24.00	48.80	29.80	6.30	27.50	4.88	25.65	1.68	0.17	5.34	6.00
4	21.00	40.20	24.20	6.70	23.60	4.20	21.80	1.80	0.00	3.70	6.00
5	16.00	41.20	25.20	6.70	21.00	4.20	20.00	1.00	0.00	3.60	6.00
6	23.00	42.60	26.30	6.00	24.00	4.80	22.90	1.10	0.00	4.90	6.00
7	36.00	62.60	36.60	6.90	45.00	6.20	39.70	6.30	0.00	6.60	6.00
8	25.00	59.60	35.60	6.90	44.73	6.10	39.19	5.54	0.00	7.64	6.00
9	24.00	61.60	38.90	7.30	46.81	6.10	42.98	3.83	0.00	7.90	6.00
10	27.00	55.50	31.10	7.20	42.90	6.28	37.58	5.12	0.22	7.72	6.00
11	36.00	45.70	30.60	6.40	37.13	5.19	35.44	1.69	0.22	7.29	3.00
12	24.00	68.20	36.40	6.40	32.68	5.67	27.62	4.67	0.39	6.68	3.00
13	17.00	56.30	35.00	7.00	37.20	4.84	31.10	5.98	0.22	7.76	3.00
14	29.00	56.80	31.90	7.40	42.01	5.52	39.37	2.12	0.52	8.69	3.00
15	29.00	60.90	40.90	7.20	39.50	6.03	33.60	5.70	0.20	5.27	3.00
16	29.00	60.40	38.70	7.20	39.60	5.62	33.60	5.70	0.20	6.68	3.00
17	29.00	54.30	35.60	7.60	39.50	5.21	33.60	5.70	0.20	7.76	3.00
18	17.00	60.40	36.40	7.00	38.67	4.84	32.79	5.88	0.00	8.80	3.00
19	20.00	68.60	36.40	7.20	39.50	5.52	33.60	5.70	0.20	5.98	3.00
20	26.00	59.60	35.30	6.10	31.76	5.54	25.41	6.37	0.00	6.84	3.00
21	23.00	59.60	36.40	7.60	61.20	5.50	49.20	7.45	4.45	7.48	3.00
22	28.00	58.60	36.40	7.60	61.18	6.92	48.28	7.45	4.45	9.70	3.00
23	20.00	69.00	29.80	6.10	77.70	6.70	66.70	16.60	4.40	13.74	3.00
24	26.00	47.30	29.80	7.00	61.40	5.50	55.52	5.88	0.00	12.94	3.00

Рис. 57. Набор исходных данных для типизации земель кластерным анализом [Разработка и применение..., 2003–2006]

лицу БД. Кроме того, результаты типизации можно получить в виде карты и отчета в doc-формате (рис. 58).

Карта типизации земель состоит из двух слоев: почвенные контуры и рабочие участки, по каждому из которых возможен просмотр соответствующей семантической информации (рис. 59).

Севообороты формируются двумя способами – путем подбора культур из предложенного списка (44 культуры) или выбором из списка рекомендуемых севооборотов. После выбора севооборота рассчитывается его продуктивность. Информация отображается в специальной таблице окна интерфейса пользователя (рис. 60).

Расчет продуктивности севооборотов осуществляется для трех уровней интенсификации по каждому типу земель (рис. 61). В качестве исходных данных используются таблицы:

- урожайности культур по предшественникам;
- коэффициентов перевода в кормовые единицы (к. е.);
- продуктивности, содержащей данные о средней урожайности культур на разных типах земель и уровнях интенсификации.

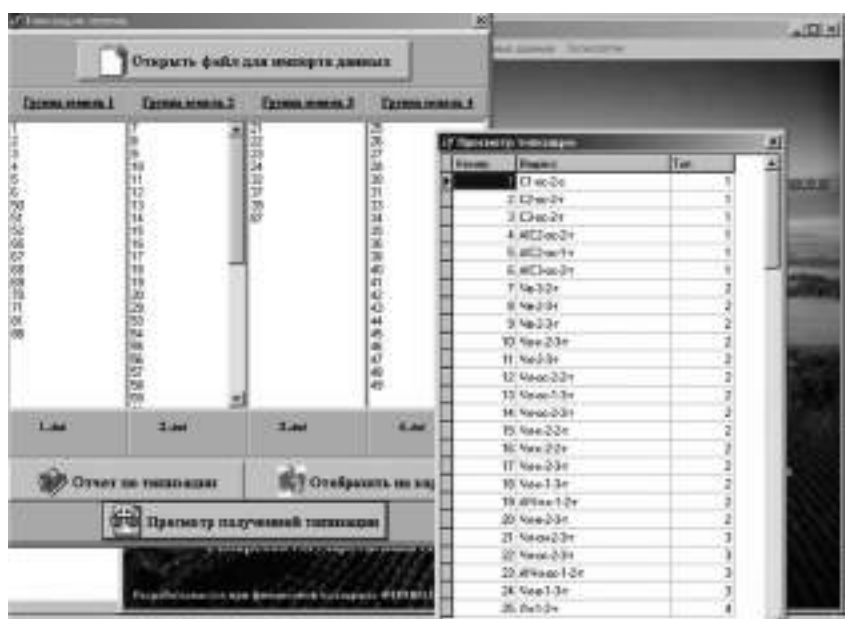


Рис. 58. Типизация земель [Разработка и применение..., 2003–2006]

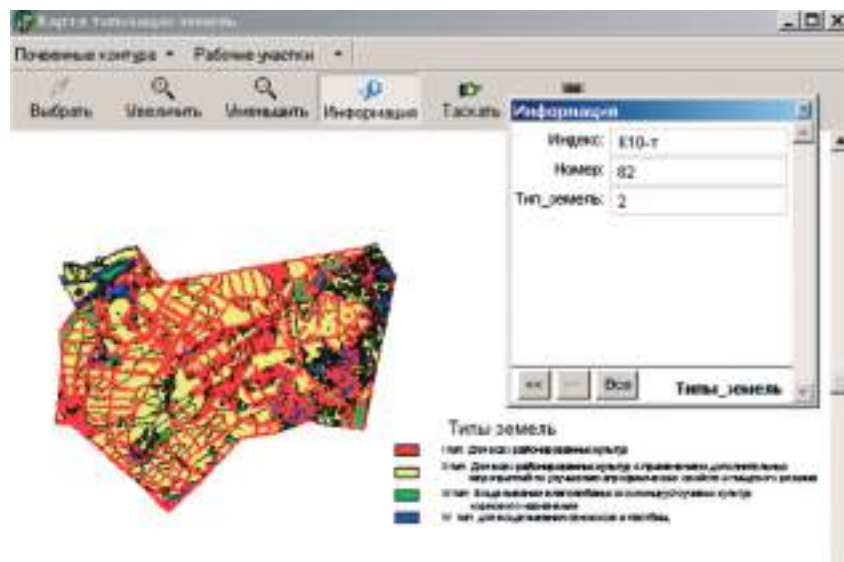


Рис. 59. Карта типизации земель
[Разработка и применение..., 2003–2006]

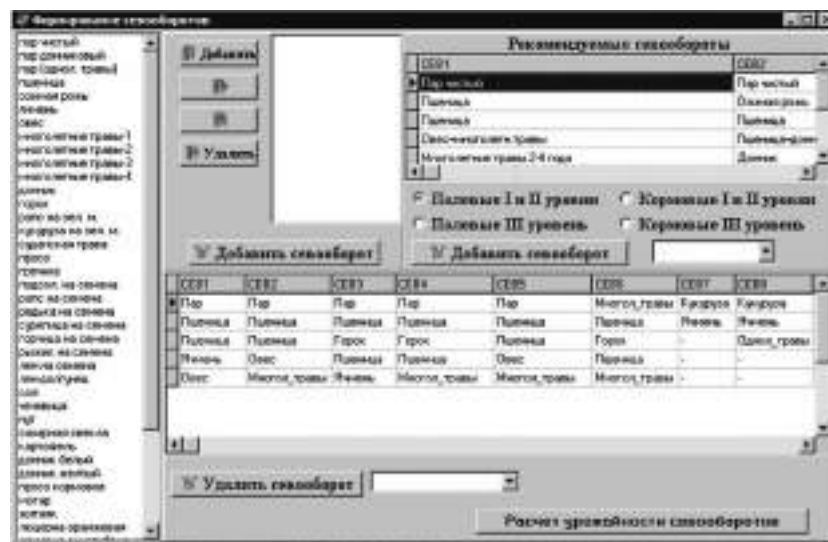


Рис. 60. Формирование севооборотов

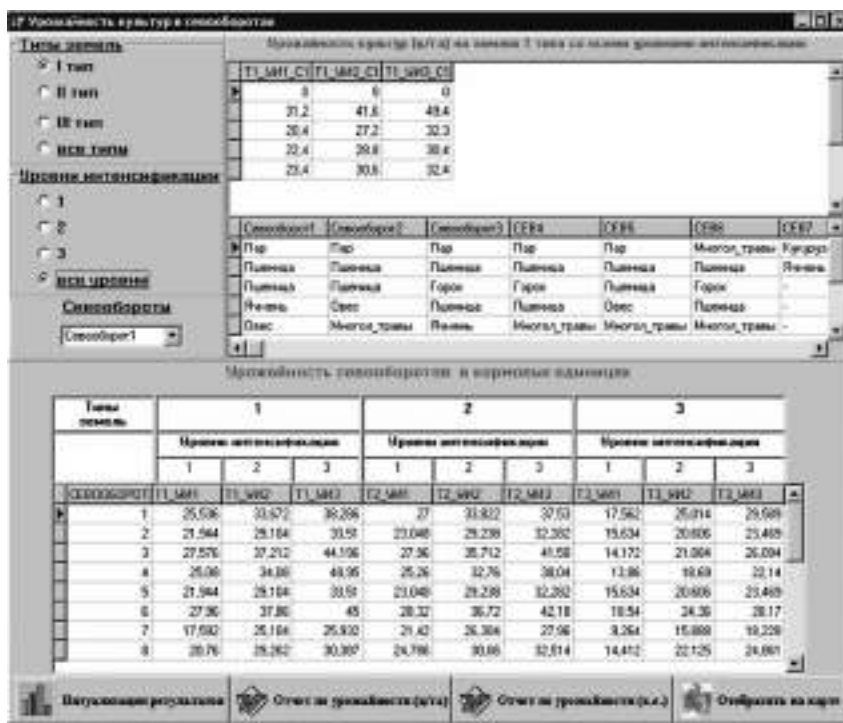


Рис. 61. Урожайность культур севооборотов [Разработка и применение..., 2003–2006]

Для каждого севооборота на каждом уровне интенсификации создается карта продуктивности по почвенным контурам и рабочим участкам. По каждому выделяемому контуру пользователь может получить информацию о том, какие культуры входят в состав севооборота и какой объем продукции можно получить, а также информацию о средней урожайности культур в севообороте, о продуктивности севооборота и др.

Полученные после расчета результаты могут быть представлены в виде отчета в формате Word, отображены на графиках в виде продуктивности севооборотов в зависимости от уровня интенсификации, типа земель и номера севооборота, а также нанесены на карту ЦМЗ (рис. 62).

На ЦМЗ отражается тематическая карта севооборотов с условными обозначениями, цветом и штриховкой. Оформление карты

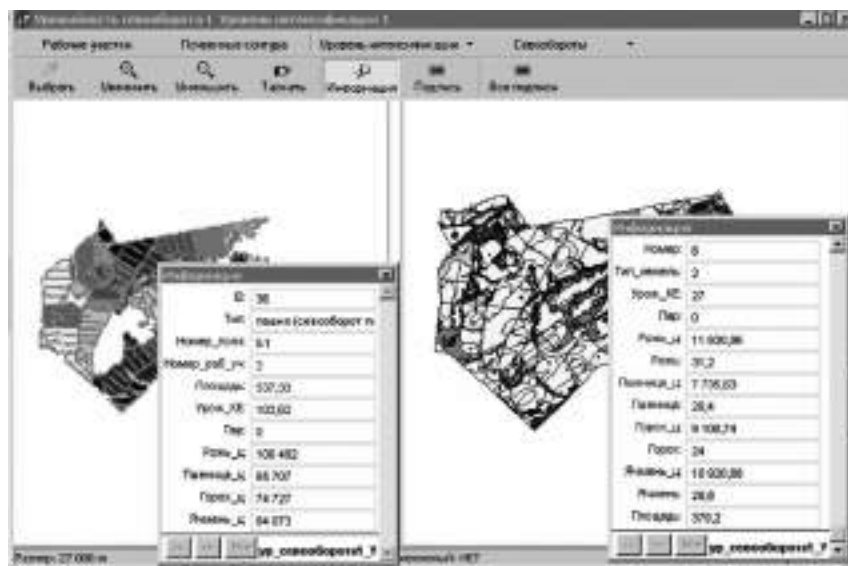


Рис. 62. Карта продуктивности севооборотов
[Разработка и применение..., 2003–2006]

севооборотов позволяет наглядно иметь представление о расположении культур в целом по хозяйству, о принадлежности той или иной культуры к типу и номеру севооборота, его пространственном размещении на территории хозяйства (рис. 63).

Подбор оптимального варианта севооборота проводится по его максимальной продуктивности на каждом уровне интенсификации для каждого типа земель с учетом его экономической эффективности (рис. 64).

Для удобства пользователя окончательные результаты оценки формируются в три отчета ГИС MapInfo. Использование функций отчета удобно при оформлении и печати окончательных результатов расчета. В отчеты пользователь может встраивать и выводить на печать карты, таблицы, легенды к картам, графики и номограммы.

В первый отчет входят сведения о севооборотах и культурах, о занимаемых площадях и выходе валовой продукции. Для наглядности и удобства пользования таблицы с результатами предварительно сортируются по типу севооборота (полевой, кормовой и т.п.), затем поля севооборотов упорядочиваются по номерам.

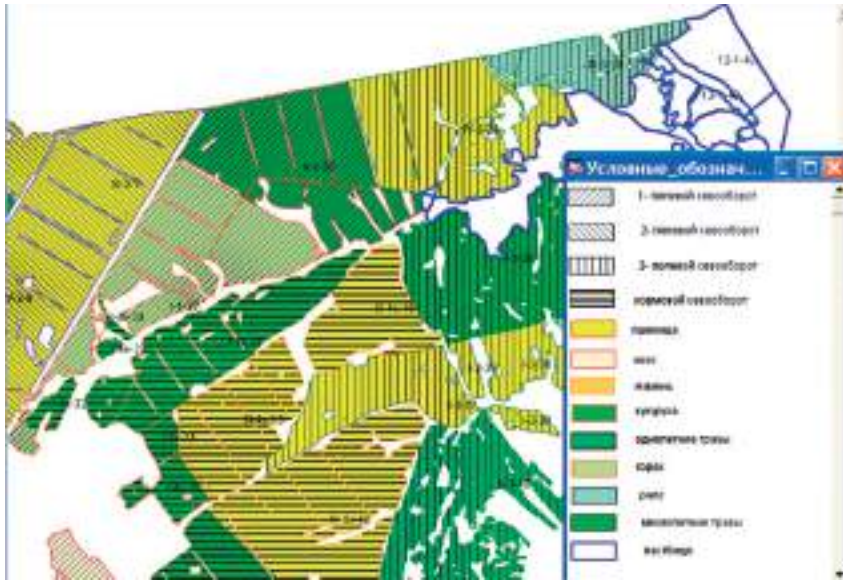


Рис. 63. Фрагмент тематической цифровой карты севооборотов (на примере ОПХ «Кремлевское» Коченевского района Новосибирской области)

17. Оптимальные варианты					СЭИ	П. УРЛ. Сб.
	Типы земель	Оптимальные севообороты	Уязвимость севооборота (ц/га)			
Уровни интенсификации	I	1	6	17,96	Мякоть, орехи	37
		2	6	18,32	Пшеница	31,2
		3	13	25,364	Горчица	30
	II	1	6	17,96	Пшеница	28,8
		2	6	16,72	Мякоть, орехи	31
		3	12	31,226		
	III	1	6	45		
		2	6	43,18		
		3	13	33,474		

Развернутый отчет
Отчет
Отобразить на карте

Рис. 64. Результаты подбора оптимальных севооборотов [Разработка и применение..., 2003–2006]

Второй отчет содержит таблицы: «Отчет по валовому сбору продукции в севооборотах», «Товарная продукция», «Расчетные площади полей для выполнения заказа на корма». Третий отчет содержит таблицу, которая отражает структуру посевных площадей и возможности выполнения заказа на товарную продукцию и корма. Анализ данных последней таблицы позволяет сделать вывод о правильности размещения севооборотов.

Для автоматизированного вычисления урожайности культур по севооборотам и валового выхода продукции с участков (продуктивность севооборотов) нами в дополнение к имеющимся программным продуктам была разработана подпрограмма Sevooborot в ГИС MapInfo с использованием языка программирования VisualBasic. В результате ее использования получены нормативная урожайность культур с проектируемых полей, а также выполнен сравнительный анализ фактической (среднестатистической) и проектируемой урожайности культур и продуктивности севооборотов землепользования ООО «Салаир» Маслянинского района Новосибирской области [Каличкин, Павлова, 2008а].

Кроме того, для формирования внутривладельческого плана (заказа) на растениеводческую продукцию (корма, семена, товарное зерно и др.) производили дополнительные расчеты. Например, для определения потребности в кормах животноводства использовали ПО «Oborot» (автор О.Д. Сорокин), в котором с учетом среднегодового поголовья в хозяйстве крупного рогатого скота по группам и необходимого рациона, годовых норм кормления производится расчет потребности в кормах того или иного вида. Для интеграции с ГИС результаты вычислений, полученные путем использования ПО «Oborot», группируются по видам кормов и необходимым для их получения культурам, затем производится расчет валового производства кормов.

Выполнение внутривладельческого плана (заказа) на растениеводческую продукцию связано со структурой посевных площадей. В свою очередь, расчет посевных площадей базируется на необходимых объемах валового производства и прогнозном уровне урожайности культур. Соответствующие алгоритмы, реализованные в ГИС-MapInfo, позволяют осуществить согласование между урожайностью культуры, площадью ее посева и валовом производстве того или иного вида продукции.

В случае, когда требуется изменить границы поля (исключение неблагоприятных участков, изменение границ поля) возникает необходимость анализа производственно-технологических свойств земель. В табл. 28 приведены расчеты для двух вариантов размещения одного поля севооборота.

По результатам производственно-технологической оценки видно, что во втором варианте земельный участок (первое поле VII севооборота) будет более компактным (коэффициент компактности (Кк) в первом варианте 2,15, во втором – 2,36). Кроме того, площадь вкраплений во втором варианте составила 0,13 % от общей площади участка. Уменьшение площади участка на 15,45 га приводит к снижению производственных затрат по сравнению с первым вариантом на 20 928,6 р. (цены 2003 г.). В то же время уменьшение площади поля приводит к снижению валового дохода и общего экономического эффекта. Во втором варианте он мень-

Таблица 28

Производственно-технологические показатели вариантов размещения поля севооборота (на примере ЗАО «Салаир» Маслянинского района Новосибирской области)

Показатель	Вариант размещения	
	I	II
Площадь, га	131,31	115,86
Периметр, м	10151,43	9879,97
Коэффициент:		
рельефа, Кр	1,02	1,02
компактности, Кк	2,15	2,36
контурности, Бк	100	89
Длина гона, м	2200	1890
Ширина поля, м	825	785
Площадь вкраплений:		
га	2,14	0,15
% от общей площади поля	1,63	0,13
Урожайность пшеницы, ц/га	14,0	16,5
Валовой сбор, ц	1831,8	1911,7
Затраты:		
на 1 га, р.	1355	1355
всего, р.	177 872	156 944

ше на 13 234,1 р. Следовательно, вариант размещения границ поля севооборота в первом случае является более экономически выгодным.

Методические подходы к автоматизированному проектированию севооборотов сводятся к выполнению следующих блоков: формирование в ГИС ЦМЗ, оценка земель и их типизация с помощью расчета нормативной урожайности культур, оценка технологических свойств земельных участков, формирование плана (заказа) на создание товарной продукции (например, продовольственного зерна) и обеспечение кормами животноводство, проектирование севооборотов, размещение севооборотов на территории землепользования и общая экономическая оценка вариантов размещения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие агрономических ГИС будет происходить, по нашему мнению, в сторону интеграции с различными прикладными программами, способными расширить наши представления об окружающем мире и закономерностях динамики процессов, происходящих в сельскохозяйственном производстве. Инструменты ГИС являются уже сегодня хорошим подспорьем для научных сотрудников в расширении методов и подходов изучения природных объектов и явлений.

В агрономии накоплено достаточно много информации по различным аспектам производства растениеводческой продукции. Научными учреждениями проведено огромное количество экспериментов (полевых опытов) по отдельным вопросам возделывания сельскохозяйственных культур. Как правило, эти эксперименты проведены на определенных, ограниченных по площади территориях с повторением во времени (например, в Сибири отдельные стационарные полевые опыты насчитывают более 60 лет). Можно сказать, что время в данном случае континуально, а пространство – дискретно. Интерпретация результатов полевых опытов на территорию всегда сопровождалась и сопровождается ныне определенными ограничениями. Применение ГИС отчасти может решить эти проблемы, например восстановление геополей методом кригинга. Под геополями понимается распределение в пространстве температуры и влажности, высот рельефа местности над уровнем моря, распределения химических элементов в почвах и др. В арсенале геостатистики существуют и другие методы для анализа пространственно-распределенных данных – ближайшего соседа, обратных взвешенных расстояний (ОВР), сплайна.

ГИС в полной мере относятся к цифровым технологиям. Разработка современных систем земледелия, например адаптивно-ландшафтных, основана на интеграции и анализе больших объемов первичной информации, ее структурировании и нахождении взаимосвязей между различными факторами, варьирующими во времени и в пространстве. ГИС рассматриваются в качестве эффективного инструмента анализа различных данных при исследовании особенностей развития определенных территорий и выработки комплексных решений. ГИС сочетают в себе все последние достижения машинной графики, баз данных и баз знаний. Поэтому ГИС являются лучшим инструментом для разработки и реализации систем земледелия.

Однако наиболее важным аспектом применения ГИС в сельском хозяйстве, ее привлекательности для специалистов является автоматизация процессов анализа природных и производственных условий хозяйствования и поддержки принятия решений. Нам представляется, что именно в этом направлении будут и должны развиваться агрономические геоинформационные системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Авдеевко Т.В., Бакаев М.А. Гибридная модель представления знаний для реализации вывода во фреймовой онтологии // Научн. вестн. НГТУ. – 2013. – № 3(52). – С. 84–90.

Автоматизированное рабочее место агронома-землеустроителя (АРМ – землеустроителя) / А.Н. Власенко, В.В. Альт, В.К. Каличкин, Н.И. Добротворская, Л.А. Колпакова, А.И. Южаков, Т.Н. Боброва, А.И. Павлова, О.Ф. Савченко, С.П. Исакова. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007614434.

Агаев Ф.Г., Исмазова Х.Р., Салахова С.Э. Алгоритмы классификации изображений на базе нейронной сети // Мат. Междун. научн. конф. «Проблемы кибернетики и информатики», 24–26 октября 2006 г., Баку. URL: <http://www.science.az/cyber/psi2006/through/5.htm> (дата обращения: 02.02.2015).

Агроклиматические ресурсы Омской области / Отв. ред. Е.Ф. Черкашина. – Л.: Гидрометеоздат, 1971. – 188 с.

Агроклиматический справочник по Омской области. – Л.: Гидрометеоздат, 1971. – 286 с.

Агроэкологическая группировка и картографирование пахотных земель для обоснования адаптивно-ландшафтного земледелия. – М.: Почвенный ин-т им В.В. Докучаева, 1995. – 76 с.

Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Метод. руководство / Под ред. В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 784 с.

Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Новосибирской области / Под ред. В.И. Кирюшина, А.Н. Власенко. – Новосибирск, 2002. – 387 с.

Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика и первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.

Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. – М.: Юнити, 1998. – 1022 с.

Аксенов С.В., Новосельцев В.Б. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии) / Под общ. ред. В.Б. Новосельцева. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 128 с.

Альт В.В., Каличкин В.К. Перспективные информационные технологии интенсификации сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 5. – С. 34–37.

Альт В.В., Каличкин В.К. Перспективные информационные технологии интенсификации сельского хозяйства Восточной Сибири // Научное обеспечение АПК Восточной Сибири. Мат. общего собрания СО Россельхозакадемии. – Новосибирск, 2007а. – С. 109–119.

Альт В.В., Колпакова Л.А., Боброва Т.Н., Добротворская Н.И. Компьютерная программа для разработки схемы землеустройства с использованием ГИС-технологий // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2008. – № 9. – С. 76–82.

Альт В.В., Боброва Т.Н., Гурова Т.А. и др. Компьютерные информационные системы в агропромышленном комплексе / Под ред. В.В. Альта. – Новосибирск: РАСХН, Сиб. отд.-ние, 2008а. – 220 с.

Анарьев Ю.С. Геоинформационные системы. – Томск.: Изд-во ТПУ, 2003. – 70 с.

Андреев Г.Г., Чабан Л.Н. Методика автоматизированной тематической обработки многозональной космической информации при отсутствии или недостатке наземных данных // Исследование Земли из космоса. – 1999. – № 2. – С. 40–51.

Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Интеллектуальные информационные системы. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 424 с.

Анриринов В. Тенденции развития ПО ГИС на примере продуктов ESRI // ArcReview. – 2006. – № 2 (37). – С. 1–3.

Аноприенко А.Я., Ерёмченко Е.Н. Неогеография и постбинарный компьютеринг, 2008. URL: <http://ea.donntu.org:8080/bitstream/123456789/971/1/Неогеография.pdf> (дата обращения: 11.03.2016).

Антипов И.Т., Павлова А.И., Каличкин В.К. Применение автоматизированных методов анализа геоизображений для агроэкологической оценки земель // Изв. вузов. Сер. геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 40–44.

Антищева Ю.О., Думит Ж.А. Морфометрический анализ рельефа с использованием ГИС-технологий при оценке рекреационного потенциала Лагонакского нагорья (Северо-Западный Кавказ) // Геоморфология. – 2009. – № 1. – С. 45–50.

Антонов В.Н., Сладких Л.А. Мониторинг состояния посевов и прогнозирования урожайности яровой пшеницы по данным ДЗЗ // Геоматика. – 2009. – № 4. – С. 50–53.

Антонов В.Н., Затыглова В.В., Захватов М.Г., Пяткин Ф.В. Геопортал как точка входа в инфраструктуру пространственных данных // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 4, № 1. – С. 1–4.

Антропов В.Н. Примеры криволинейных зависимостей между свойствами почвы и ее производительностью // Математические методы в биологии и почвоведении. – Алма-Ата: Наука, 1976. – С. 74–82.

Апарин Б.Ф., Антонова Н.С. Использование материалов по СПП для типизации земель // Структура почвенного покрова и организация территории. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1983. – С. 38–47.

Апарин Б.Ф., Русаков А.В., Булгаков Д.С. Бонитировка почвы и основы государственного земельного кадастра. – СПб.: Санкт-Петерб. гос. ун-т, 2002. – 88 с.

Арманд Д.Л. Информационные модели природных комплексов. – М.: Наука, 1975. – 126 с.

Аршинский Л.В. Геоинформационные технологии и неогеография в правоохранительной деятельности // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. – 2016. – № 2 (77). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/geoinformatsionnyetehnologii-i-neogeografiya-v-pravoohranitelnoy-deyatelnosti> (дата обращения: 16.04.2017).

Асоян Д.С. Аэрокосмическая информация в электронном комплексном атласе «Наша Земля» // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2000. – № 2. – С. 96–101.

Афанасьев В.Г. Системность и общество. – М.: Политиздат, 1980. – 368 с.

Афонин А.Н., Грин С.Л., Дзюбенко Н.И., Фролов А.Н. Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредите-

ли, болезни и сорные растения [Интернет-версия 2.0]. 2008. URL: <http://www.agroatlas.ru> (дата обращения: 09.09.2015)

Афонин А.Н., Грин С.Л., Ли Ю.С. Что умеет Агроатлас... /BioGIS Journal – 2011-06-03/ URL: <http://www.biogis.ru/BioGIS/biogisjournal> (дата обращения: 09.09.2016).

Баденко В.Л., Баденко Г.В., Терлеев В.В., Латышев Н.К. ГИС-технологии в информационном обеспечении системы имитационного моделирования AGROTOOL // Агрофизика. – 2011. – № 3. – С. 1–5.

Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Капралов Е.Г. и др. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов. – М.: ГИС-ассоциация, 1999. – 204 с.

Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 175 с.

Барталев С.А., Лупян Е.А., Нейштадт И.А., Щербенко Е.В. Разработка методов мониторинга пахотных земель России по данным спутниковых наблюдений радиометром MODIS. – М.: ИКИ РАН, 2007. – 222 с.

Безбородов В.Г., Дукарский О.М., Тряпкин Д.С., Ушаков Р.Г. Организация массового доступа к пространственной информации и её анализ в интересах развития территорий // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2015. – Т. 7, № 4. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/123EVN415.pdf>

Белобородов М.А. ГИС-технологии в региональных геологических исследованиях // Геоинформатика в нефтегазовой отрасли. – М.: ГИС-ассоциация, 1998. – С. 122–123.

Белов А.А., Кропотов Ю.А. Обработка массивов данных из ГИС и прогнозирование экологической ситуации в задаче экологического мониторинга // Методы и устройства передачи и обработки информации. – 2007. – Вып. 9. – С. 79–83.

Белобров В.П. О новом подходе к оценке контрастности почвенного покрова // Почвенные и агрохимические исследования с применением ЭВМ. – М.: ВАСХНИЛ, 1981. – С. 50–58.

Березин Л.В. Использование программного комплекса ENVI для почвенного дешифрирования космических снимков // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 90–91.

Березин Л.В., Шаяхметов М.Р., Веретельникова И.В., Чопозов А.П. Использование материалов ДЗЗ для оценки потенциально плодородных залежных земель лесостепной зоны Западной Сибири // Сб. научн. тр. Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. – 2014. – Т. 2. – № 7. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-materialov-dzz-dlya-otsenki-potentsialno-plodorodnyh-zaleznyh-zemel-lesostepnoy-zony-zapadnoy-sibiri> (дата обращения: 21.02.2015).

Берлянт А.М. Картографический метод исследования. – М.: МГУ, 1978. – 257 с.

Берлянт А.М. О предмете и содержании геоинформатики // Геодезия и картография. – 2001. – № 11. – С. 43–45.

Берлянт А.М. Виртуальные геоизображения. – М.: Научный мир. – 2001а. – 56 с.

Берлянт А.М. Теория геоизображения. – М.: ГЕОС. – 2006. – 262 с.

Беручашвили Н.Л., Жукова В.К. Методы комплексных физико-географических исследований. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. – 320 с.

Бернштейн С.Н. Современное состояние теории вероятностей и ее приложений // Труды Всерос. съезда математиков. – М., Л.: ГИЗ, 1928. – С. 50–63.

Бернштейн Ю.Б. Разработка математического и программного обеспечения кадастровых геоинформационных систем: дис. ... канд. техн. наук / Сиб. гос. геодез. акад. – Новосибирск, 2002. – 172 с.

Благовещенский Ю.Н., Самсонова В.П., Дмитриев Е.А. Непараметрические методы в почвенных исследованиях. – М.: Наука, 1987. – 95 с.

Бойнов А.И., Кузьмин А.И. Пойма Иртыша. – Омск: Зап-Сиб. кн. изд-во, 1975. – 109 с.

Болотова Л.С. Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях. – М.: Финансы и статистика, 2012. – 664 с.

Большая советская энциклопедия / Изд. 3-е. – М.: Советская энциклопедия, 1972. – Т. 10.

Борисов А.Н. Построение интеллектуальных систем, основанных на знаниях повторным использованием компонентов // Мат. конференции OSTIS. – Мн.: БГУИР, 2014. – С. 97–102.

Боч С.Г., Краснов И.И. Классификация объектов геоморфологического картирования и содержания общих геоморфологических карт в связи с разработкой легенд для карт разных масштабов // Сов. геология. – 1958. – №2. – С. 27–50.

Бриллюэн Л. Научная неопределённость и информация. – М.: Мир, 1966. – 271 с.

Бронгулеев В.В., Жидков М.П., Макаренко А.Г. Типологическое геоморфологическое районирование Западно-Сибирской равнины // Геоморфология. – 2006. – № 3. – С. 6–21.

Брыксин В.М. Применение адаптированной модели биопродуктивности EРIS и космоснимков MODIS для прогнозирования урожайности зерновых культур на территории Западной Сибири // Вестн. НГУ. Серия: Информационные технологии. – Изд-во НГУ, 2007. – Т. 5, вып. 1. – С. 20–26.

Брыксин В.М., Евтюшкин А.В. Оценка урожайности зерновых культур на основе данных дистанционного зондирования и модели биопродуктивности // Сб. мат. науч. конгр. ГЕО-Сибирь-2005 (25–29 апреля 2005 г., Новосибирск). – Новосибирск: СГГА, 2005. – Т. 5. – С. 218–223.

Булгаков С.В. Особенности геоинформационного моделирования // Изв. высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 3. – С. 77–80.

Буряков М.Н. Практически единственным оперативным и достоверным источником информации для отраслевой ГИС АПК являются данные ДЗЗ // Геомастика. – 2011. – № 2. – С. 8–12.

Бындыч Т.Ю. Структурное моделирование латеральной неоднородности почв по данным космической съемки // Живые и биокосные системы. – 2016. – № 16. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-16/article-5> (дата обращения: 17.02.2017).

Бычков И.В., Луковников Н.Г., Луковников А.Н. и др. Внедрение геоинформационных технологий и навигационных систем в задачах точного земледелия // Вестн. НГУ. Сер. информационные технологии. – 2011. – Т. 9, вып. 1. – С. 21–30.

Валиев Д.С. Технологические свойства земли как рентообразующий фактор при кадастровой оценке земель сельскохозяйственного назначения / Итоги научн. исслед. сотрудников ГУЗа в 2001 г. Земельный кадастр и земельное право – М.: ГУЗ, 2002. –Т. 1. – С. 46–52.

Варламов А.А., Гальченко С.А., Ломакин Г.В. Содержание и методы получения, сбора и хранения земельно-кадастровой информации // Приклад. геоэкология, чрезвычайные ситуации, зем. кадастр и мониторинг, 1995. – Вып. 1. – С. 81–92.

Васнев И.И., Руднев Н.И., Букреев Д.А. Локальные информационно-справочные системы по оптимизации земледелия и землепользования // Информационно-справочные системы по оптимизации землепользования в условиях ЦЧЗ. – Курск, 2002. – С. 67–90.

Васенев И.И., Руднев Н.И. Комбинированная модель расчета оптимальных доз удобрений в информационно-справочной системе по оптимизации технологий земледелия // *Агроэкологическая оптимизация земледелия*. – Курск, 2004. – С. 207–210.

Васенев И.И., Васенева Э.Г. Перспективы использования цифровых почвенных карт и специализированных систем поддержки принятия решений для агроэкологической оптимизации земледелия в условиях Центрально-Черноземного региона России // *Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования*. Сб. статей. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. – С. 156–177.

Васильев А.Н., Тархов Д.А. Принципы и техника нейросетевого моделирования. – СПб.: Нестор-История, 2014. – 217 с.

Верейко А.П. Землеустройство с основами геодезии. – М.: Недра, 1988. – 254 с.

Викторов А.С. Рисунок ландшафта. – М.: Мысль, 1986. – 179 с.

Винер Н. Кибернетика и общество. – М.: Иностранная литература, 1958 – 200 с.

Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине / Под ред. Г.Н. Поварова. – 2-е изд. – М.: Наука, 1983. – 344 с.

Винокуров Ю.И., Цимбалей Ю.М., Красноярова Б.А. Физико-географическое районирование Сибири как основа разработки региональных систем природопользования // *Ползуновский вестник*. – 2005. – № 4. – С. 3–13.

Власенко А.Н., Южаков А.И., Каличкин В.К., Шарков И.Н. Оценка продуктивности земель как элемент моделирования систем земледелия // *Сиб. вестн. с.-х. науки*. – 2003. – № 2. – С. 63–67.

Власенко А.Н., Филимонов Ю.П., Каличкин В.К. и др. Экологизация обработки почвы в Западной Сибири. – Новосибирск: РАСХН. Сиб. отд-ние, 2003а. – 268 с.

Власенко А.Н., Каличкин В.К., Добротворская Н.И. и др. Использование геоинформационных систем в агропромышленном комплексе // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2005. – Т. 3, № 1. – С. 3–10.

Вовк И.Г. Математическое моделирование в прикладной геоинформатике // *Вестн. СГГА*. – 2012. – Вып. 1 (17). – С. 94–103.

Волков С.Н. Землеустройство. Системы автоматизированного проектирования в землеустройстве. – М.: Колос, 2002. – Т. 6. – 328 с.

Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. – М.: Наука, 1976. – 286 с.

Воробьева А.А. Дистанционное зондирование Земли. – СПб.: ПНИУ ИТ МиО, 2012. – 168 с.

Габидулин Э.М., Пилипчук Н.И. Лекции по теории информации. – М.: МФТИ, 2007. – 214 с.

Гаврилов А.В., Канглер В.М. Использование искусственных нейронных сетей для анализа данных // *Сб. научн. статей НГТУ*. – 1999. – № 3(16). – С. 56–63.

Генике А.А., Побединский П.Г. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии. – М.: Картогеоцентр-Геодезиздат, 1999. – 272 с.

Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов / Ю.Б. Баранов, А.М. Берлянт, Е.Г. Капралов и др. – М.: ГИС-Ассоциация, 1999. – 204 с.

Геоинформатика / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др.; под ред. В.С. Тикунова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 480.

Геоинформатика / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др. В 2 кн. Кн. 1; под ред. В.С. Тикунова. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.

Геоинформатика / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др. В 2 кн. Кн. 1; под ред. В.С. Тикунова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 400 с.

Геоинформационные технологии и математические модели для мониторинга и управления экологическими и социально-экономическими системами; под ред. И.Н. Ротановой. – Барнаул: Пять плюс, 2011. – 250 с.

Геоморфология Западно-Сибирской равнины (объяснительная записка к геоморфологической карте Западно-Сибирской равнины масштаба 1 : 1500 000). – Новосибирск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1969. – 109 с.

Герасимов И.П. Структурные черты рельефа земной поверхности на территории СССР и их происхождение. – М.: АН СССР, 1959. – 99 с.

Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М., Сороколетов П.В. Биоинспирированные методы в оптимизации. – М.: Физмалит, 2009. – 381 с.

Глотов А.А. Применение данных о рельефе для эффективного использования сельскохозяйственных земель // Геопрофи. – 2013. – № 4. – С. 20–22.

Годельман Я.М. Неоднородность почвенного покрова и использование земель. – М.: Наука, 1981. – 198 с.

Годунов С.К., Рябенский В.С. Разностные схемы. – М.: Наука, 1977. – 439 с.

Гончаров В.Н. Использование методов математического моделирования при агрофизической оценке почвенного покрова // Вестн. Оренбургского ГУ. – 2008. – № 10 (92). – С. 161–167.

Горбань А.Н., Россиев Д.А. Нейронные сети на персональном компьютере. – Новосибирск: Наука, 1996. – 276 с.

Городецкая М.Е., Лазуков Г.И. Геоморфологическое районирование // Равнины и горы Сибири. – М.: Наука, 1975. – С. 118–121.

Горшенин К.П. Почвы южной части Западной Сибири (от Урала до Байкала). – М.: АН СССР, 1955. – 591 с.

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

ГОСТ Р 56084–2014. Глобальная навигационная спутниковая система. Система навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия. Термины и определения.

Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации. Под общей редакцией Сапожникова П.М., Носова С.И.. – М.: ООО «НИПКЦ ВОСХОД-А», 2012. – 160 с.

Гохман В.В. Точное земледелие и ГИС // ГИС для сельского хозяйства. – 2016. – № 3 (78); URL: www.esricis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=24059&SECTION_ID=1095 (дата обращения: 12.03.2017).

Градобоев Н.Д., Прудникова В.М., Сметанин И.С. Почвы Омской области. – Омск: Омское кн. изд-во, 1960. – 372 с.

Грегори К. География и географы: Физическая география / Пер. с англ. под ред. А.Ю. Ретсюма. – М.: Прогресс, 1988. – 384 с.

Григорьев А.А. Космическая индикация ландшафтов Земли. – Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1975. – 166 с.

Григорьев Г.И. Неоднородность почвенного покрова и ее виды в подзолистой зоне // Почвоведение. – 1970. – № 5. – С. 3–11.

Гриценко А.Г. Карта густоты расчленения рельефа юга Западно-Сибирской равнины // Геоморфологические формации Сибири. – Новосибирск: Ин-т геологии и геофизики СО АН СССР, 1978. – С. 126–128.

Гриценко А.Г. Карта глубины расчленения рельефа юга Западно-Сибирской равнины // Геоморфологические формации Сибири. – Новосибирск: Ин-т геологии и геофизики СО АН СССР, 1978а. – С. 129–132.

Гриценко А.Г. Карта уклонов поверхности юга Западно-Сибирской равнины // Геоморфологические формации Сибири. – Новосибирск: Ин-т геологии и геофизики СО АН СССР, 1978б. – С. 150–153.

Грищенко Д.В., Кобецкая А.В. Трехмерная картография: преимущества, способы, инструменты // Инженерная графика и трехмерное моделирование. Молодежная науч.-практ. конф.: сб. научн. докладов (16 декабря 2016 г., Новосибирск). – Новосибирск: СГУГиТ, 2017. – С. 40–46.

Губанов М.Н., Востокова А.В., Евтеев О.А. и др. Формирование базы данных комплексного экологического картографирования на основе ГИС-технологий // ГИС для оптимизации природопользования в целях устойчивого развития территории. – Барнаул: АлтГУ, 1998. – С. 69–79.

Гурьянова Л.В. Введение в ГИС. – Мн.: БГУ, 2008. – 135 с.

Гусманов И.У., Гамов Р.Р. Экономическая оценка сельскохозяйственных угодий и ее использование в сельском хозяйстве. – М.: Россельхозакадемия, 2005. – 172 с.

Дейт К. Введение в системы баз данных. 8-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1328 с.

Демерс М.Н. Географические информационные системы. – М.: Дата+, 1999. – 491 с.

Демиденко А.Г., Слива И.В., Трубников А. Построение агрономической ГИС // Геоматика. – 2009. – № 2. – С. 59–62.

Диагностика и классификация почв Омской области и их сельскохозяйственное использование / Л.Н. Мищенко, А.А. Неупокоев, Я.Р. Рейнгард и др. – Омск: ОМСХИ, 1990. – 61 с.

Дивеев Ш.А., Сердюков А.Н., Флегонтов А.В. Методы использования навигационных средств в геоинформационных системах // Изв. вузов. Сер. геодезия и аэрофотосъемка. – 1996. – № 5/6. – С. 72–75.

Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 336 с.

Джексон П. Введение в экспертные системы. – СПб.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 624 с.

Дмитриева В.Т., Ерёмченко Е.Н., Клименко С.В., Кружалин В.И. Неогеография: особенности нового подхода к работе с географической информацией // География и экология в школе XXI века. – 2009. – № 3. – С. 9–16.

Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. – М.: МГУ, 1984. – 416 с.

Добротворская Н.И., Колпакова Л.А., Савченко О.Ф. Автоматизированное рабочее место агронома – интеллектуальный инструмент проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «АГРОИНФО-2006» (Новосибирск, 17–18 окт. 2006 г.). – Новосибирск: РАСХН. Сиб. отд-ние, 2006. – Ч. 1. – С. 201–210.

Доклад о состоянии и использовании земель Новосибирской области в 2015 году. – Новосибирск, 2016. – 100 с.

Дрейзин В.Э. Перспективы использования геоинформационных технологий в управлении народнохозяйственными объектами (классификация задач) // Изв. ТПУ. – 2003. – Т. 306, № 1. – С. 68–74.

- Дубинин М.Ю., Рыков Д.А.** Открытые настольные ГИС: обзор текущей ситуации // Информ. бюл. ГИС-Ассоциации. – 2009. – № 5 (72). – С. 20–27.
- Дубровин А.Д.** Интеллектуальные информационные системы. – М.: МГУКИ, 2008. – 197 с.
- Дышленко С.Г.** Принципы трехмерного моделирования в ГИС // Науки о Земле. – 2012. – № 4. – С. 65–71.
- Дышленко С.Г.** Трехмерное моделирование в ГИС // Перспективы науки и образования. – 2014. – № 2 (8). – С. 28–33.
- Дэвис Дж. С.** Статистический анализ данных в геологии / Пер. с англ. В.А. Голубевой. Кн. 1. – М.: Недра, 1990. – 319 с.
- Единый** государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. Коллективная монография. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2014. – 768 с.
- Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М.** Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: Физматлит, 2003. – 432 с.
- Евтюшкин А.В., Брыксин В.М., Рычкова Н.В.** Способ прогнозирования урожайности зерновых культур на основе данных космического мониторинга и моделирования биопродуктивности: патент РФ №2379879 // Бюл. № 3. Заяв. № 2007125088/12, 02.07.2007. Оpubл. 27.01.2010.
- Евтюшкин А.В., Брыксин В.М., Рычкова Н.В., Хворова Л.А.** Верификация модифицированной модели биопродуктивности EPIC на региональном уровне // Вестн. Балтийского федерального университета им. И. Канта. – 2014. – Вып. 4. – С. 121–126.
- Ерёмченко Е.Н.** Концепция знака в контексте неогеографии // Информационные и математические технологии в науке и управлении – 2016. – Т. 27, № 1. – С. 49–54.
- Ефимова О.К.** Информационные системы для землеустройства в Сибири. Лекции. – Новосибирск: СГГА, 2011. – 85 с.
- Жиляков Е.Г., Путивцева Н.П.** Система адаптивной обработки экспертных суждений // Вестн. Национального технического университета Харьковский политехнический институт. Серия: Информатика и моделирование. – 2004. – № 46. – С. 62–68.
- Журкин И.Г., Шайтура С.В.** Геоинформационные системы. – М.: КУДИЦ-ПРЕСС, 2009. – 272 с.
- Журкин И.Г., Хлебникова Т.А.** Цифровое моделирование измерительных трехмерных видеосцен. – Новосибирск: СГГА, 2012. – 246 с.
- Заболотский А.А.** Использование открытого программного обеспечения для составления цифровых топографических карт и планов масштабов 1 : 500-1 : 10 000 на примере создания ГИС «Саблино» // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. – 2014. – Вып. 4. – С. 205–210.
- Заде Л.А.** Тени нечетких множеств. Пер. с англ. В.Л. Стефанюка // Проблемы передачи информации. – М., 1966. – Т. 2, вып. 1. – С. 37–44.
- Замай С.С., Охонин В.А., Якубайлик О.Э.** Нейронные сети и ГИС. – 2005. URL: <http://www.torins.ru/demo/download/NeuroGIS.pdf> (дата обращения: 12.03.2016)
- Замятин Н.В., Максимов В.П., Платонов Н.В., Тарасевич М.Н.** Информационная нейросетевая система для интеллектуального анализа данных // Изв. Томского политех. ун-та. – 2006. – Т. 309, № 8. – С. 107–112.
- Заславский М.Н.** Эрозиеведение. Основы противоэрозионного земледелия. – М.: Высш. шк., 1987. – 376 с.
- Зверев Л.А., Каличкин В.К., Ким А.И.** Об оценке сельскохозяйственных земель // Геодезия и картография. – 2003. – № 5. – С. 51–54.

Земцов А.А. Геоморфология Западно-Сибирской равнины (северная и центральная части). – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1976. – 340 с.

Зяцькова Л.К. Структурная геоморфология Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1979. – 200 с.

Иванов А.В., Сафрошкин В.Ю., Рыбальский Н.Н. Сетевые почвенные информационные системы и цифровые модели почв // Научный сервис в сети Интернет: решение больших задач. Тр. Всерос. научн. конф. (22–27 сентября 2008 г., Новосибирск). – М.: Изд-во МГУ, 2008. – С. 448–450.

Иванов А.Л. От редактора // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. Сб. статей. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. – С. 7–8.

Иванов А.Л. Научное земледелие России: итоги и перспективы // Земледелие, 2014. – № 3. – С. 25–29.

Избачков Ю.С., Петров В.И. Информационные системы. – СПб.: Питер, 2011. – 656 с.

Измайлов А.Ю., Смирнов А.Г., Лобачевский Я.П. и др. Роботы для современных машинных технологий в растениеводстве // Сб. научн. докл. Межд. науч.-техн. конф. «Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации государственной программы развития сельского хозяйства» (15–16 сентября 2015 г., Москва). – М.: ВИМ, 2015. – С. 126–132.

Изображения Земли из космоса: примеры применения. – М.: ИТЦ «Скан-Экс», 2005. – 100 с.

Израэль Ю.А., Квасникова Е.В., Назаров И.М. и др. Атлас радиоактивного загрязнения европейской части России, Белоруссии и Украины // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2000. – № 1. – С. 112–119.

Ильин В.В. Философия и история науки. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с.

Инструкция по межеванию земель. – М.: Роскомзем, 1996. – 31 с.

Информационно-справочные системы по оптимизации землепользования в условиях ЦЧЗ [И.И. Васенёв и др.]; под ред. И.И. Васенёва и Г.Н. Черкасова. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 2002. – 118 с.

Исаченко А.Г. Вопросы методики физико-географического районирования северо-запада Русской равнины // Природное сельскохозяйственное районирование. – М.: Географгиз, 1961. – С. 6–17.

Исаченко А.Г. Методы прикладных ландшафтных исследований. – Л.: Наука, 1980. – 222 с.

Исмадова Х.Р. Нейронная экспертная система для анализа и картирования процессов засоления почв по данным дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2006. – Т. 2, вып. 3. – С. 320–329.

Кабелко С.Г., Яницкий Е.Б. Планирование и управление сельскохозяйственным производством при помощи ГИС-технологий, 2004. URL: <http://gis.belgorod.ru/ctati.files/st 12.htm>

Кадочников А.А., Попов В.Г., Токарев А.А., Якубайлик О.Э. Формирование геоинформационного Интернет-портала для задач мониторинга состояния природной среды и ресурсов // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Техника и технологии. – 2008. – Т. 1, № 4. – С. 377–386.

Кадочников А.А., Якубайлик О.Э. Разработка программных средств сбора и визуализации данных наблюдений для геопортала Института вычислительного моделирования СО РАН // Вестн. НГУ. Сер. Информ. технологии. – 2014. – Т. 12, № 4. – С. 23–31.

Какпо Р.С.К. Применение интегрированной модели «DSSAT-SIG» для определения доз удобрений под кукурузу в южной и центральной части Бенина // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 1. – С. 22–26.

Каличкин В.К. Применение геоинформационных систем в планировании производства зерна // Мат. междунар. конференции «Информационные технологии, системы и приборы в АПК». – Новосибирск, 2006. – Ч. 1. – С. 216–218.

Каличкин В.К. Планирование производства продовольственного зерна с помощью ГИС // Мат. Междунар. науч. конф., посвящ. 95-летию со дня рождения И.И. Синягина. – Новосибирск, 2007. – С. 48–54.

Каличкин В.К. Принципы создания информационно-советующей системы производства зерна на основе ГИС // Проблемы сельскохозяйственного производства аридных территорий и их решение. Мат. научн. сессии общ. собр. СО Россельхозакадемии (4 августа 2010 г., Абакан). – Новосибирск, 2010. – С. 108–113.

Каличкин В.К., Добротворская Н.И., Южаков А.И., Ким А.И. Использование геоинформационных систем для оценки земель сельскохозяйственного назначения // Матер. междунар. конф. «Геоэкологические проблемы почвоведения и оценки земель». – Томск: ТГУ, 2002. – Т 2. – С. 478–482.

Каличкин В.К., Иодко Л.Н., Павлова А.И. Программа для выбора основного приема обработки почвы. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011613909 от 19 мая 2011 г.

Каличкин В.К., Ким А.И. Применение ГИС-технологий для оценки земель сельскохозяйственного назначения в системе государственного земельного кадастра // Земельный вестник России. – 2004. – № 2. – С. 56–61.

Каличкин В.К., Павлова А.И. Применение ГИС в кадастровой оценке сельскохозяйственных земель. – Новосибирск: РАСХН. Сиб. отд-ние, 2006. – 76 с.

Каличкин В.К., Павлова А.И. Технология автоматизированной оценки земель сельскохозяйственного назначения для кадастровых целей // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2008. – № 4. – С. 5–11.

Каличкин В.К., Павлова А.И. Автоматизированное проектирование севооборотов // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2008а. – № 12. – С. 5–11.

Каличкин В.К., Павлова А.И. Система поддержки принятия решений по рациональному использованию земельных ресурсов хозяйства на основе ГИС // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 6. – С. 13–16.

Каличкин В.К., Павлова А.И. Автоматизированная оценка продуктивности земель // Достижения науки и техники АПК. – 2009а. – № 12. – С. 7–9.

Каличкин В.К., Павлова А.И. Применение ГИС для выбора приема основной обработки почвы // Достижения науки и техники АПК. – 2009б. – № 3. – С. 6–9.

Каличкин В.К., Павлова А.И. К вопросу о методах оценки продуктивности земель // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2010. – № 2. – С. 5–9.

Каличкин В.К., Павлова А.И. Применение непараметрической статистики в геоинформационном анализе топологии переувлажненных земель // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2012. – № 4. – С. 5–11.

Каличкин В.К., Павлова А.И. Картографирование эрозионных земель с помощью ГИС и нейронной экспертной системы // Мат. междунар. научн. конгресса Интерэкспо Гео-Сибирь–2013. Конференция 3. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» (16 апреля 2013 г.). – Новосибирск, 2013. – С. 1–3.

Каличкин В.К., Павлова А.И. Применение нейронной экспертной системы для классификации эрозионных земель // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2014. – № 6. – С. 5–11.

Каличкин В.К., Павлова А.И. К вопросу о топологии эрозионных земель // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии. Сб. науч. докл. XVIII междунар. науч.-практ. конф. (16–17 сентября 2015 г., Новосибирск). – Новосибирск: ФГБУ СО АН, 2015. – Ч. 3. – С. 35–41.

Каличкин В.К., Павлова А.И. Автоматизированный способ классификации земель на основе анализа морфометрии рельефа // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2017. – № 1. – С. 5–11.

Каличкин В.К., Понько В.А., Павлова А.И. К вопросу о климатически обеспеченной урожайности сельскохозяйственных культур // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2009. – № 5. – С. 13–21.

Каличкин В.К., Филимонов Ю.П., Иодко Л.Н. Выбор приема основной (зяблевой) обработки почвы по агроэкологическим факторам: практическое пособие. – Новосибирск: РАСХН. Сиб. отд-ние, 2005. – 20 с.

Каличкин В.К., Южаков А.И., Добротворская Н.И., Ким А.И. Применение ГИС для моделирования севооборотов и их размещения // Сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. «Перспективные технологии для современного сельскохозяйственного производства» (15–18 сентября 2005 г., г. Курск). – Курск, 2005. – С. 122–125.

Калюжин В.А., Добротворская Н.И., Мичкова О.А. и др. Технология создания цифровых почвенных и землеустроительных карт для оценки природно-ресурсного потенциала земель сельскохозяйственного назначения // Современ. проблемы геодезии и оптики: Сб. матер. ЛП междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию СГГА. 11–21 марта 2003 г. – Новосибирск: СГГА, 2003. – Ч. 3. – С. 269–272.

Канатьева Н.П., Лисицкий Ф.Н., Украинский П.А. Применение геоинформационного картографирования для оценки состояния агроландшафтов Северного Приволжья // Научн. ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. – 2013. – Вып. 25, № 24 (167). – С. 157–161.

Карась С.И. Модели представления знаний и когнитивная психология: две стороны одной медали // Вестн. ТГУ. – 2010. – № 2 (10). – С. 23–26.

Карманов А.Г., Кнышев А.И., Елисеева В.В. Геоинформационные системы территориального управления. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 121 с.

Карманов И.И., Булгаков Д.С. Алгоритм оценки продуктивности почвенно-экологических условий возделывания сельхозкультур // Плодородие. – 2007. – № 5. – С. 37–40.

Кацко С.Ю. Неогеография и картография // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2013. – Т. 1, № 2. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/neogeografiya-i-kartografiya> (дата обращения: 16.04.2017).

Ким А.И. Использование геоинформационных систем для проведения внутрихозяйственной оценки земель // Современ. проблемы геодезии и оптики: Сб. матер. ЛП междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию СГГА. – Новосибирск, 2003. – Ч. 3. – С. 326–329.

Ким А.И. Оценка технологических свойств земельных участков с использованием ГИС-технологий // Материалы IV съезда Докучаевского общества почвоведов «Почвы. Национальное достояние России» 9–13 августа 2004 г. – Новосибирск. Наука-центр, 2004. – С. 247.

Ким А.И. Разработка технологии кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения на основе ГИС-технологий: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Сиб. гос. геодез. акад. – Новосибирск, 2004а. – 24 с.

Ким А.И., Каличкин В.К. Информационное обеспечение ГКО земель сельскохозяйственного назначения // Матер. междунар. науч.-практ. конф. «АГРОИН-ФО-2003». – Новосибирск: РАСХН. Сиб. отд-ние, 2003. – С. 93–97.

Кирпичева Е.Ю. Решение геолого-прогнозных задач на основе базы экспертных знаний о поисковых признаках эталонных объектов // Sanse.ru: электрон. журнал «Системный анализ в науке и образовании». – 2009. – Вып. 4. URL: <http://www.sanse.ru> (дата обращения: 15.01.2014 г.).

Кирпичева Е.Ю., Кузнецов В.В. Методика геолого-прогнозного моделирования // Геоинформатика. – 2006. – № 2. – С. 58–61.

Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. – М.: Колос, 1996. – 366 с.

Кирюшин В.И. Оценка качества земель и плодородия почв для формирования систем земледелия и агротехнологий // Почвоведение. – 2007. – № 37. – С. 873–880.

Кирюшин В.И. Классификация почв и агроэкологическая типология земель. – СПб: Лань, 2016. – 288 с.

Кирюшин В.И., Дубачинская Н.Н., Трубников А.В., Галактионова О.В. Опыт агроэкологической оценки земель для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия в АГРОГИС // Геоинформационные технологии в сельском хозяйстве: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Оренбург: ОГАУ. – 2013 г. – С. 4–6.

Китов А.Д. Компьютерный анализ и синтез геоизображений. – Новосибирск: СО РАН, 2000. – 219 с.

Клебанович Н., Прокопович С., Дамшевич А. Возможности использования цифровой модели рельефа для выделения границ почв полу- и гидроморфного ряда на основе морфодинамического анализа почвенного покрова // Земля Беларуси. – 2014. – № 3. – С. 43–48.

Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И. Аэрокосмические исследования динамики географических явлений. – М.: МГУ, 1991. – 205 с.

Книжников Ю.Ф., Тутубалина О.В., Чалова Е.Р., Балдина Е.А. Получение космических снимков по сети Интернет – первая Интернет-школа Межуниверситетского аэрокосмического центра // Материалы первого всерос. уч.-практ. семинара ГИС и Интернет (Москва, 5–7 декабря 2000 г.). ГеоДиск'2001, № 5, «От Форума до Форума». – М., 2001. – Т. 5. URL: <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1164318> (дата обращения: 19.04.2016),

Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований. – М.: Академия, 2004. – 336 с.

Кобзева Е.А., Поздина К.А. Автоматизация дешифрирования спутниковых снимков: опыт и проблемы // Геодезия и картография. – 2008. – № 6. – С. 40–44.

Коган В.З. Человек в потоке информации. – Новосибирск: Наука. 1981. – 177 с.

Козлов Д.И., Сорокина Н.П. На пути к цифровой почвенной картографии // Матер. V Всерос. съезда об-ва почвоведов. – Ростов н/Д: Ростиздат, 2008. – С. 221.

Козлов Д.И., Сорокина Н.П. Традиции и инновации в крупномасштабной почвенной картографии // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. Сб. статей. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. – С. 37–57.

Колесникова В.М., Алябина И.О., Воробьёва Л.А. и др. Почвенная атрибутивная база данных России // Почвоведение. – 2010. – № 8. – С. 899–908.

Колосков П.И. Климатический фактор сельского хозяйства и агроклиматическое районирование. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 327 с.

Комарцова Л.Г. Использование нейросетевых методов для решения задач проектирования вычислительных систем. – М.: Изд-во МГТУ, 2000. – 70 с.

Константинова Н.С., Митрофанова О.А. Онтологии как система хранения знаний // Всерос. конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы», 2008. – 54 с. URL: <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/795/58795/28657> (дата обращения: 17.08.2017).

Концепция развития государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, и формирования государственных информационных ресурсов об этих землях на период до 2020 года // Собрание законодательства Российской Федерации, 09.08.2010, № 32, ст. 4366.

Копнов М.В., Ковин Р.В. Восстановление двумерных геополей: проблемы и решения // Изв. ТПУ. – 2007. – Т. 311, № 5. – С. 72–75.

Копнов М.В. Модели, алгоритмы и программные средства для анализа геополей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Томск: ТПУ, 2010. – 19 с.

Кормщикова М.Ю., Кива Р.Е. Федеральная ГИС «Атлас земель сельскохозяйственного назначения» // Геоматика. – 2013. – № 1. – С. 39–47.

Корогодин В.И., Соснин Э.А., Пойзнер Б.Н. Рабочая книга по социальному конструированию (Междисциплинарный проект). – Томск: Изд-во ТГУ, 2000. – Ч. 1. – 152 с.

Королев Ю.К. Модели данных геоинформационных систем // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 1998. – № 2(14). – С. 70–73.

Корухова Ю.С. Управление знаниями: уч. пособие. – М.: МГУ; МАКС Пресс, 2012. – 48 с.

Котляков В.М., Зверкова Н.М., Хромова Т.Е. Концепция гляциологической геоинформационной системы // Изв. РАН. Сер. геогр. – 1997. – № 5. – С. 125–135.

Кошель С.М. Моделирование рельефа по изолиниям // Университетская школа географической картографии. К 100-летию профессора К.А. Салищева. – М.: Аспект Пресс, 2005. – С. 198–208.

Кошкарёв А.В. Картография и геоинформатика: пути взаимодействия // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1990. – № 1. – С. 32.

Кошкарёв А.В. Цифровое моделирование рельефа // Морфология рельефа. – М.: Научный мир, 2004. – С. 103–122.

Кошкарёв А.В. Геопортал как инструмент управления пространственными данными и геосервисами // Пространственные данные. – 2008. – № 2. URL: <http://www.gisa.ru/45968.html> (дата обращения: 10.09.2016).

Кошкарёв А.В., Каракин В.П. Региональные геоинформационные системы. – М.: Наука, 1987. – 126 с.

Кошкарёв А.В., Тикунов В.С. Геоинформатика. Под ред. Д.В. Лисицкого. – М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 1993. – 213 с.

Кравченко Ю.А. Основы конструирования систем геомоделирования. Книга 1. Теоретические основы информационного геомоделирования. – Новосибирск: СГГА, 2008. – Ч. 1. – 196 с.

Кравченко Ю.А. Основы конструирования систем геомоделирования. Книга 1. Теоретические основы информационного геомоделирования. – Новосибирск: СГГА, 2008а. – Ч. 2. – 288 с.

- Кравченко Ю.А.** Информационное геодекодирование: проблема представления данных и знаний: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Новосибирск, 2012. – 32 с.
- Кравченко Т.К., Середенко Н.Н.** Выделение признаков классификации систем поддержки принятия решений. // Открытое образование. – 2010. – № 4. – С. 71–78.
- Краев Д.А.** Экологический мониторинг и использование WEB-ГИС технологий // Омский научный вестник. – 2012. – № 2 (114). – С. 196–198.
- Красильников П.В., Сидорова В.А.** Геостатистический анализ пространственной структуры кислотности и органического углерода зональных почв Русской равнины // Геостатистика и география почв. – М.: Наука, 2007. – С. 67–80.
- Красноусова С.К., Савченко О.Ф., Доброворская Н.И.** Особенности построения интеллектуальной системы в землепользовании // Научная сессия МИФИ–2003. Сб. науч. тр. «Интеллектуальные системы и технологии». – М.: МИФИ, 2003. – Т. 3. – С. 193–194.
- Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю.** Нечёткая логика и искусственные нейронные сети. – М.: Физматлит, 2001. – 221 с.
- Кузнецов П.П.** Семантические представления. – М.: Наука, 1986. – 286 с.
- Кузнецов С.Д.** Введение в реляционные базы данных. – М.: НОУ «Интуит», 2016. – 247 с.
- Кузьмин С.Б., Данько Л.В., Черкашин Е.А., Осипов Э.Ю.** Цифровые модели рельефа: методика построения и возможности использования при геоморфологическом анализе // Геоморфология. – 2007. – № 4. – С. 33–41.
- Курейчик В.М.** Особенности построения систем поддержки принятия решений // Изв. ЮФУ. – 2012. – № 7. – С. 92–98.
- Курякпаев О.Т., Машанов А.А.** Возможности использования ГИС-технологий в землеустройстве и земельном кадастре // Вестн. КРСУ. – 2016. – Т. 16, № 5. – С. 154–156.
- Ландшафтно-интерпретационное картографирование** / Т.И. Коновалова, Е.П. Белосицына, И.Н. Владимиров и др. – Новосибирск: Наука, 2005. – 424 с.
- Лайкин В.И., Упоров Г.А.** Геоинформатика. – Комсомольск-на-Амуре: Изд-во АмГПУ, 2010. – 162 с.
- Лапшин В.А.** Онтологии в компьютерных системах. – М.: Научный мир, 2010. – 222 с.
- Лархер В.** Экология растений. – М.: Мир, 1978. – 384 с.
- Ларионов Г.А.** Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. – М.: МГУ, 1993. – 200 с.
- Ласточкин А.Н.** Морфодинамический анализ. – Л.: Недра, 1987. – 256 с.
- Ласточкин А.Н.** Морфологическая основа систематики и картографирования контролируемых рельефом компонентов ландшафта // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1991. – № 3. – С. 7–18.
- Ласточкин А.Н.** Системно-морфологическое основание наук о Земле (Геотопология, структур. география и общ. теория геосистем). – СПб.: СПбГУ, 2002. – 762 с.
- Лебедева Н., Смирнова Е.** Единая модель данных для цифровых топографических карт и планов, или как нам обустроить ЦММ // ArcReview. – 2006. – № 2 (37). – С. 6–7.
- Леменкова П.А.** Проектирование репозитория геоданных на основе ARCEDITOR // Междунациональная научно-техническая интернет-конференция: Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов. – 2016. URL: <http://kadastr.org> (дата обращения: 05.03.2017).

- Лисецкий Ф.Н., Светличный А.А., Черный С.Г.** Современные проблемы эрозии / Под ред. А.А. Светличного. – Белгород: Константа, 2012. – 456 с.
- Лисицкий Д.В., Кацко С.Ю.** Изменение роли картографических изображений в процессе формирования единого электронного геопространства // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 156–161.
- Личман Г.И., Смирнов И.Г., Беленков А.И.** Интеллектуальное земледелие как дальнейшее развитие идей точного земледелия // Нивы Зауралья. – 2015. – № 1 (123). – С. 60–63.
- Лобанов А.А.** Инфраструктура пространственных данных как ресурс управления // Государственный советник. – 2014. – № 4 (8). – С. 76–81.
- Логинов В.Ф.** Опыт разработки экологической ГИС «Природопользование» в Республике Беларусь // ГИС для оптимизации природопользования в целях устойчивого развития территории. – Барнаул: АлтГУ, 1998. – С. 24–26.
- Лойко П.Ф.** Земельный потенциал мира и России: пути глобализации его использования в XXI веке. – М.: ФКЦ «Земля», 2000. – 342 с.
- Локальная** информационно-справочная система по оптимизации земледелия в хозяйстве ЛИССОЗ / И.И. Васенёв, Н.И. Руднев, В.Г. Хахулин, А.В. Бузылев. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005610898.
- Лотоцкий В.Л.** Пространственное информационное моделирование // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 3 (15). – С. 114–122.
- Лошкарёв П.А., Курлыков А.М., Кошкин К.В. и др.** Развитие ЕТРИС Д33 с применением облачных технологий // Геоматика. – 2013. – № 4. – С. 22–26.
- Лурье И.К.** Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: Уч. для вузов. 2-е изд. – М.: КДУ, 2010. – 424 с.
- Лурье Е.В., Самсонов Т.Е.** Структура и содержание пространственной базы данных для мультимасштабного картографирования // Геодезия и картография. – 2010. – № 11. – С. 17–23.
- Луценко Е.В.** Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами (системная теория информации и ее применение в исследовании экономических, социально-психологических, технологических и организационно-технических систем). – Краснодар: КубГАУ, 2002. – 605 с.
- Лютый А.А., Геворков В.Р., Логинова Л.В.** Комплексный научно-справочный атлас Курильских островов // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2000. – № 1. – С. 102–111.
- Ляпунов А.А.** О кибернетических вопросах биологии // Проблемы кибернетики. – М.: Наука, 1972. – Вып. 25. – С. 5–39.
- Майоров А.А.** Современное состояние геоинформатики // Инженерные изыскания. – 2012. – № 7. – С. 12–15.
- Майоров А.А., Соловьёв И.В., Цветков В.Я. и др.** Мониторинг инфраструктуры пространственных данных. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2012. – 198 с.
- Маркелов В.М.** Создание картографических логистических моделей в логистике // Науки о Земле. – 2012. – Вып. 3. – С. 54–58.
- Маркелов В.М.** Применение топологических моделей геоданных для оптимизации транспортных маршрутов // Математические методы и модели анализа и прогнозирования развития социально-экономических процессов черноморского побережья Болгарии / Материалы Междунар. науч.-практ. конф. 16–23 июля 2012 г. – Бургас, Болгария, 2012а. – С. 56–61.
- Марков А.Г.** Рождение сложности. Эволюционная биология сегодня. Неожиданные открытия и новые вопросы. – М.: Астрель, 2010. – 552 с.

- Матушко А.К., Якубайлик О.Э.** Разработка прикладных ГИС на основе геопортала // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 2 (14). – С. 202–209.
- Матчин В.Т.** Состояние и развитие инфраструктуры пространственных данных // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – № 1(9). – С. 137–144.
- Махт В.А., Пученко Е.С.** Внутрихозяйственная оценка земель и ее практическое применение в условиях Западной Сибири. – Омск: ОМСХИ, 1990. – 104 с.
- Медведев В.В.** Неоднородность почв и точное земледелие. Введение в проблему. – Харьков: Изд-во «13 типография», 2007. – Ч. 1. – 296 с.
- Медведев В.В., Мельник А.И.** Неоднородность агрохимических показателей почвы в пространстве и времени // Агрохимия. – 2010. – № 1. – С. 20–26.
- Мезенцев В.С.** Метод гидролого-климатических расчетов и опыт его применения для районирования Западно-Сибирской равнины по признакам увлажнения и теплообеспеченности // Труды Омского сельскохоз. ин-та им. С.М. Кирова. – Омск: ОМСХИ, 1957. – Т. 27. – 121 с.
- Мезенцев В.С.** Атлас увлажнения и теплообеспеченности Западно-Сибирской равнины. – Омск: ОМСХИ, 1961. – 66 с.
- Мезенцев В.С., Карнаевич И.В.** Увлажненность Западно-Сибирской равнины. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 168 с.
- Мелик-Гайказян И.В.** Информационные процессы и реальность. – М.: Наука. Физматлит, 1998. – 192 с.
- Методика комплексной агрономической характеристики почв / Почв. ин-т им. В.В. Докучаева.** – М., 1985. – 74 с.
- Методическое пособие и нормативные материалы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия.** – Курск, Тверь: ЧуДо, 2001. – 260 с.
- Методические указания по государственной кадастровой оценке земель сельскохозяйственного назначения, 2010.** URL: <http://legalacts.ru/doc/prikaz-mineko-pomrazvitija-rt-ot-20092010-n-445/> (дата обращения: 03.08.2016).
- Методология составления крупномасштабных агроэкологически ориентированных почвенных карт.** – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2006. – 159 с.
- Мешеряков Ю.А.** Структурная геоморфология равнинных стран мира. – М.: Наука, 1965. – 390 с.
- Милюков Ф.Н.** Природные зоны СССР. – М.: Мысль, 1964. – 325 с.
- Милюков Ф.Н.** Основные проблемы физической географии. – М.: Высш. шк., 1967. – 251 с.
- Минский М.Л.** Фреймы для представления знаний. Пер. с англ. О.Н. Гринбаума; под ред. Ф.М. Кулакова. – М.: Энергия, 1979. – 151 с.
- Митчелл Э.** Руководство ESRI по ГИС-анализу. – М.: Дата+, 2001. – 190 с.
- Михаилиди И.М.** Создание территориальных информационных систем на базе сервера прикладных ГИС-служб: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Барнаул, 2006. – 20 с.
- Михаилиди И.М., Кошелева Е.Д., Цхай А.А.** Территориальные информационные системы в природопользовании // Ползуновский вестник. – 2006. – №4. – С. 285–291.
- Михайлов В.А.** Комплексный морфометрический анализ Тарханкутского полуострова с помощью ГИС // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 2. – Ч. 4. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/02/46640> (дата обращения: 02.06.2016).
- Михайлов Н.И.** Физико-географическое районирование. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 183 с.

Михеева И.В. Изменение вероятностных распределений фракций гранулометрического состава каштановых почв Кулундинской степи под воздействием природных и антропогенных факторов // Почвоведение. – 2010. – № 12. – С. 1456–1467.

Модели адаптивно-ландшафтных систем для основных природно-сельскохозяйственных регионов страны. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 2005. – 80 с.

Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна / А.С. Керженцев, Р. Майснер, В.В. Демидов и др. – М.: Наука, 2006. – 224 с.

Монахов А.К. Зависимость густоты эрозионного расчленения от геологического строения в Центральном Казахстане // Геоморфология. – 1975. – № 1. – С. 86–51.

Морозов В.П. Создание математических моделей задач на основе баз знаний, представленных в виде алгоритмических моделей // Программные продукты и системы. – 2002. – № 2. – С. 9–12.

Мусин О.Р. Цифровые модели для ГИС // Инф. бюл. ГИС-Ассоциации. – 1998. – № 4 (16). – С. 31–32.

Мусин О.Р. Диаграмма Вороного и триангуляция Делоне // Инф. бюл. ГИС-Ассоциации. – 1999а. – № 2 (9). – С. 51–52.

Мусин О.Р. Диаграмма Вороного и триангуляция Делоне // Инф. бюл. ГИС-Ассоциации. – 1999б. – № 3 (20). – С. 9–10.

Налимов В.В. Вероятностная модель языка. – М.: Наука, 1979. – 303 с.

Налимов В.В. Десять лет с Колмогоровым // Химия и жизнь. – 1995. – № 6. – С. 8–13.

Нейлор К. Как построить свою экспертную систему: Пер. с англ. Н.Н. Слепова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 286 с.

Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных. Под ред. В.П. Боровикова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2008. – 392.

Николаев В.А. Геоморфологическое районирование Западно-Сибирской равнины // Западно-Сибирская равнина. – М.: Наука, 1970. – С. 226–255.

Николаев В.А. Проблемы регионального ландшафтоведения. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 160 с.

Николаев В.А. Геоморфологические системы Сибири // Проблемы системно-формационного подхода к познанию рельефа. – Новосибирск: Наука, 1982. – С. 108–123.

Николаевская Е.М. Морфометрический анализ Западно-Сибирской равнины // Геоморфология. – 1970. – № 4. – С. 41–51.

Николаевская Е.М. Возможности использования космических снимков для составления карт горизонтального расчленения рельефа // Геоморфология. – 1976. – № 4. – С. 99–103.

Никольская И.И., Прохорова С.Д. Картографический метод исследования овражной эрозии // Геоморфология. – 2005. – № 1. – С. 44–52.

Никоненко А.А. Обзор баз знаний онтологического типа // Искусственный интеллект. – 2009. – № 4. – С. 208–219.

Новаковский Б.А., Прасолов С.В., Прасолова А.И. Цифровые модели рельефа реальных и абстрактных геополей. – М.: Научный мир, 2003. – 64 с.

Носенко Ю.И., Новиков М.В., Заичко В.А. и др. Единая территориально-распределенная информационная система дистанционного зондирования Земли – проблемы, решения, перспективы // Геоматика. – 2010. – Ч. 2, № 4(9). – С. 31–37.

Носов С.И., Садыков И.А., Бондарев Б.Е. Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения: тур II, этап I // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2006. – № 10 (60). – С. 18–25.

Обзор электронного оборудования и GPS-систем. Классификация пользовательской спутниковой аппаратуры // ГИС-обозрение. – 1996. – № 2.

Омелько А.М., Яковлева А.Н. Создание карт потенциальной растительности с использованием генерализованных аддитивных моделей // Вестн.КрасГАУ. – 2012. – № 11. – С. 82–87.

Определение «Географическая информационная система» на сайте ГИС Ассоциации. URL: <http://www.gisa.ru/13058.html> (дата обращения: 12.03.2017).

Орлов А.И. Прикладная статистика. – М.: Экзамен, 2004. – 498 с.

Осипов А.В. Основные принципы создания геоинформационной системы для модели пространственной оптимизации агропромышленного комплекса региона (на примере юго-запада Тюменской области) // Вестн. Тюменского ГУ. – 2010. – № 3. – С. 161–168.

Основные геоморфометрические параметры: теория. – 2015. URL: <http://gis-lab.info/qa/geomorphometric-parameters-theory.html> (дата обращения: 01.12.2016).

Основы геоинформатики / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др. В 2 кн. Под ред. В.С. Тикунова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – Кн. 1. – 352 с.

Павлова А.И. Морфометрический анализ рельефа с помощью ГИС // Интер-экспо Гео-Сибирь–2013. IX междунар. науч. Конгресс (16–26 апреля 2013 г., Новосибирск). – Новосибирск: СГГА, 2013. – Т. 3, № 4. – С. 166–170.

Павлова А.И. Применение нейронной экспертной системы и ГИС для классификации эрозийных земель // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2014. – № 10. – С. 312–319.

Павлова А.И., Каличкин В.К. Программа оценки технологических свойств земельных участков / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007614433 от 23 октября 2007 г.

Павлова А.И., Каличкин В.К. Геоинформационное картографирование почвенного покрова // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 10. – С. 55–57.

Павлова А.И., Каличкин В.К. Использование материалов космической съемки и ГИС для геоморфологического районирования территории // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2009а. – № 11. – С. 5–14.

Павлова А.И., Каличкин В.К. Автоматизированное картографирование сельскохозяйственных земель с помощью нейронной экспертной системы, интегрированной с ГИС // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 1. – С. 5–8.

Павлова А.И., Каличкин В.К. Использование геоморфометрического анализа рельефа при создании баз данных сельскохозяйственных земель // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2016. – № 5. – С. 5–12.

Павлова А.И., Каличкин В.К. Классификация плакорных земель с использованием нейронной экспертной системы и ГИС // XIX Междунар. науч.-практ. конф. «Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии» (Беларусь, Минск, 19–21 октября 2016 г.). – Минск, 2016а. – С. 294–297.

Панкин В.Д., Васенёв И.И., Руднев Н.И. Автоматизированный анализ эффективности применения ресурсосберегающих технологий с использованием ЛИССОЗ // Агроэкологическая оптимизация земледелия. – Курск, 2004. – С. 210–214.

Парфилова Н.И., Пруцков А.В., Пылькин А.Н., Трусов Б.Г. Информатика и программирование. Основы информатики. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 256 с.

Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. Пер. с англ. А.Г. Подвесовского, Ю.В. Тюменцева, под ред. Ю.В. Тюменцева. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.

Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / Пер. с англ. А.Г. Подвесовского и Ю.В. Тюменцева. – 2-е изд. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.

Петров И.Б. Обь-Иртышская пойма (типизация и качественная оценка земель). – Новосибирск: Наука, 1979. – 136 с.

Петровский А.Б. Теория принятия решений. – М.: Изд. центр «Академия», 2009. – 398 с.

Петрушин А.Ф. Комплекс программ формирования и обработки баз данных и знаний в агрономии: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб., АФИ, 2005. – 27 с.

Пирьев Р.Х. Методы морфометрического анализа рельефа (на примере Азербайджана). – Баку: Элм, 1986. – 120 с.

Питенко А.А. Использование нейросетевых технологий при решении аналитических задач в ГИС // Методы нейроинформатики. – Красноярск: Изд-во КГТУ, 1998. – С. 152–164.

Питенко А.А. Нейросетевая аналитическая обработка и оценка значимости параметров для ГИС // Тр. Междунар. конф. «ГИС для оптимизации природопользования в целях устойчивого развития территорий» (ИНТЕРКАРТО-4). – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та. – 1998а. – С. 161–167.

Питенко А.А. Нейросетевой анализ в геоинформационных системах. – Красноярск, 2000. – 97 с.

Поддержка принятия управленческих решений: инструментально-информационное обеспечение / З.Н. Козенко, А.Ф. Рогачёв, А.Л. Нахшунов, И.А. Карапузов. Под ред. А.Ф. Рогачёва. – Волгоград: Изд-во Волгоградского ГУ, 2001. – 124 с.

Подобедов Н.С. Общая физическая география и геоморфология. – М.: Недра, 1974. – 312 с.

Полищук М.Ю., Козин Е.С., Любимов Д.М. и др. Геоинформационная система для анализа состояния окружающей среды и выбора природоохранных технологий // ГИС для оптимизации природопользования в целях устойчивого развития территории. – Барнаул: АлтГУ, 1998. – С. 79–85.

Понько В.А. Агроклиматическая адаптация земледелия // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2006. – № 2. – С. 107–114.

Понько В.А. Агроклиматическая адаптация земледелия // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2008. – № 4. – С. 42–48.

Попков А.В. Применение нейронных сетей и искусственного интеллекта для целей территориального планирования // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2013. №4 (28). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-neyronnyh-setey-i-iskusstvennogo-intellekta-dlya-tselpri-territorialnogo-planirovaniya> (дата обращения: 15.04.2017).

Попов А.Л. Системы поддержки принятия решений: Уч.-метод. пособие. – Екатеринбург: Урал. гос. ун-т, 2008. – 80 с.

Попов Э.В. Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалого с ЭВМ. – М.: Наука, 1987. – 288 с.

Постановление Правительства Российской Федерации от 28 февраля 2015 г. № 182 о внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 10 июня 2005 г. № 370 «Об утверждении Положения о планировании космических съемок, приеме, обработке и распространении данных дистанционного зондирования Земли высокого линейного разрешения на местности с космических аппаратов типа «Ресурс-ДК».

Прикладная статистика: классификация и снижение размерности / С.А. Айвазян и др. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.

Пролеткин И.В. От ГИС-технологий к ГИС-мировоззрению // ГИС-обзор. – 2000. – №3–4. – С. 2–4.

Прудникова В.М., Рейнгард Я.Р. Геоморфологическое районирование Омской области // Научн. тр. Омского СХИ им. С.М. Кирова. – Омск, 1975. – Т. 140. – С. 3–11.

Прудникова В.М., Рейнгард Я.Р. Почвообразующие породы Омской области // Почвы Западной Сибири, их мелиорация и эффективность удобрений. – Омск: ОмСХИ, 1980. – С. 3–8.

Пурсаков С.И. Об использовании распределения рек по длине в картографии // Картографические методы в научных исследованиях. – Новосибирск: Наука, 1986. – С. 17–20.

Разработка и применение геоинформационных технологий в агропромышленном комплексе: отчеты о научно-исследовательской работе по договору с областной администрацией № ФН-1-02 от 3 января 2002 г.; рук. А.Н. Власенко; исполн.: В.К. Каличкин, В.В. Альт [и др.]. – Новосибирск, 2003–2006 гг.

Региональные эталоны почвенного плодородия / Л.Л. Шишов, Д.С. Булгаков, И.И. Карманов и др. / Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. – М., 1991. – 274 с.

Релько В.Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект: модели и концепция эволюционной кибернетики. 7-е изд. – Сер. Синергетика: от прошлого к будущему. – М.: Изд-во URSS, Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2011. – 220 с.

Рейнгард Я.Р. Основные типы эрозионного расчленения территории Омской области и взаимосвязь их с развитием эрозионных процессов // Эффективность удобрений на почвах Западной Сибири. – Омск: ОмСХИ, 1965. – С. 25–33.

Рейнгард Я.Р. Эрозия почв Омской области. – Омск: ОмСХИ, 1987. – 84 с.

Рейнгард Я.Р. Деградация почв экосистем юга Западной Сибири. – Омск, Лодзь (Польша), 2009. – 634 с.

Рейнгард Я.Р. Эрозия почв и изменение почвенного покрова Омской области. – Омск: Вариант, 2011. – 205 с.

Рейнгард Я.Р., Махт В.А., Осинцева Н.В. Состояние, использование и охрана почв Омской области. – Омск: Вариант-Омск, 2011. – 97 с.

Рельеф Западно-Сибирской равнины / А.И. Земцов, Б.В. Мизеров, В.А. Николаев и др. – Новосибирск: Наука, 1988. – 192 с.

Рихтер Г.Д. Рельеф и геологическое строение // Западная Сибирь. – М.: АН СССР, 1963. – С. 22–69.

Рожков В.А., Алябина И.О., Колесникова В.М. и др. Почвенно-географическая база данных России // Почвоведение. – 2010. – № 1. – С. 1–6.

Ротанова И.Н., Воробьев К.В. Вопросы использования информационных ресурсов государственного кадастра недвижимости при создании инфраструктуры пространственных данных Алтайского края // Изв. АлтГУ. – 2013. – Т. 2, вып. № 1 (77), – С. 105–113.

Ротанова И.Н., Воробьев К.В., Оскорбин Н.М. Принципы построения, технологии и программное обеспечение региональной модели инфраструктуры про-

странственных данных Алтайского края // ГУ. – 2013. – Вып. № 1 (77). – Т. 1. – С. 143–147.

Руднев Н.И., Васенёв И.И., Харченков Ю.И., Хахулин В.Г. Адаптация ЛИССОЗ к условиям Опытного-производственного хозяйства ВНИИЗиЗПЭ // Модели и технологии оптимизации земледелия. – Курск, 2003. – С. 277–282.

Руководство по среднемасштабному картографированию почв на основе ГИС / М.С. Симакова, Д.И. Рухович, В.П. Белобров. – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. – 243 с.

Рунион Р. Справочник по непараметрической статистике. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 198 с.

Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта / Пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 519 с.

Рыбальский Н.Н. Семантическая модель описания почв и почвенная информационная система: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М.: МГУ, 2012. – 25 с.

Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 315 с.

Савин И.Ю. Дешифрирование почвенного покрова лесостепи Центрально-Черноземного района по среднемасштабным космическим снимкам: автореф. дис. ... канд. геогр. наук – М., 1990. – 27 с.

Савин И.Ю. Автоматизированная инвентаризация почв на основе материалов дистанционных съемок: возможности и перспективы // Региональные проблемы экологии, географии и картографии почв. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – С. 91–101.

Савин И.Ю. Компьютерная инвентаризация почвенного покрова // Почвоведение. – 1999. – № 7. – С. 889–904.

Савин И.Ю. Среднемасштабная инвентаризация почв с использованием технологий географических информационных систем // Почвоведение: аспекты, проблемы, решения. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2003. – С. 229–241.

Савин И.Ю. Инвентаризация почв с использованием ГИС-технологий // Почвоведение. – 2003а. – № 10. – С. 1189–1196.

Савин И.Ю. Анализ почвенных ресурсов на основе геоинформационных технологий: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – М.: РГБ, 2005. – 382 с.

Савин И.Ю. Компьютерная имитация картографирования почв // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. – С. 26–35.

Савин И.Ю., Овечкин С.В., Шерemet Б.В. Геоинформационное «картографирование почв» // Современные проблемы почвоведения. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2000. – С. 241–259.

Савин И.Ю., Ляпун Е.А., Барталев С.А. Оперативный спутниковый мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур в России // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 69–76.

Савин И.Ю., Симакова М.С. Спутниковые технологии для инвентаризации и мониторинга почв России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 5. – С. 104–115.

Саймон Х. Нейронные сети: полный курс = Neural Networks: A Comprehensive Foundation. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.

Самсонов Т.Е. Картографические методы визуализации и генерализации цифровых моделей рельефа // Геоморфология: Современные методы и технологии

цифрового моделирования рельефа в науках о Земле. – М.: Медиа-ПРЕСС, 2016. – Вып. 6. – С. 9–18.

Самсонова В.П. Пространственная изменчивость почвенных свойств: на примере дерново-подзолистых почв. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 160 с.

Сапожников П.М., Носов С.И. Особенности определения кадастровой стоимости земель сельскохозяйственного назначения в современных условиях // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2011. – № 11. – С. 79–84.

Сапожников П.М., Носов С.И. Кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения: проблемы, пути решения // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2011а. – № 7. – С. 73–77.

Сапожников П.М., Табакова С.А. Актуальные вопросы проведения государственной кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации // Вопросы оценки. – 2013. – № 1 (71). – С. 9–14.

Сахарова Е.Ю., Сладких Л.А., Захватова М.Г. Спутниковый мониторинг состояния посевов и прогнозирование урожайности зерновых культур на юге Западной Сибири // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2015. № 1. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/sputnikovyy-monitoring-sostoyaniya-posevov-zernovyh-kultur-s-ispolzovaniem-indeksa-vegetatsii> (дата обращения: 29.04.2016).

Светличный А.А. Математическое моделирование водной эрозии: проблема классификации // Вестн. Одесского национального ун-та. – 2010. – Т. 15, вып. 5. – С. 32–40.

Семенов В.А. Полевой опыт в аграрной науке (новая концепция). – М.: Рос-сельхозакадемия, 2004. – 32 с.

Сербенюк С.Н. Картография и геоинформатика – их взаимодействие / Под ред. В.А. Садовниченко. – М.: МГУ, 1990. – 157 с.

Середенко Н.Н. Развитие метода анализа иерархий (МАИ) // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 39–48.

Середович В.А., Каличкин В.К., Калюжин В.А. и др. Проблемы картографического обеспечения внутрихозяйственного землеустройства территории АПК // Современ. проблемы геодезии и оптики: Сб. матер. ЛП междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию СГГА. 11–21 марта 2003 г. – Новосибирск: СГГА, 2003. – Ч. 4. – С. 254–257.

Середович В.А., Ключниченко В.Н., Тимофеева Н.В. Геоинформационные системы (назначение, функции, классификация). – Новосибирск: СГГА, 2008. – 192 с.

Серов А.В. Базы данных и геоинформационные системы. Атрибутивная информация // Пространственные данные. – 2008. – № 4. URL: <http://gisa.ru/49208.html> (дата обращения: 06.05.2016).

Серышев В.А., Солодун В.И. Агрорландшафтное районирование Иркутской области // География и природные ресурсы. – 2009. – № 2. – С. 86–93.

Симакова М.С. От визуального дешифрирования аэрофотоснимков и полевого картографирования почв до автоматизированного дешифрирования и картографирования по космическим снимкам // Бюл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. – 2014. – Вып. 74. – С. 3–19.

Симонов А.В. Агроэкологическая картография. – Кишинев: Штиинца, 1991. – 127 с.

Симонов Ю.Г. Региональный геоморфологический анализ. – М.: МГУ, 1972. – 250 с.

Симонов Ю.Г. Морфометрический анализ рельефа. – Смоленск: Смол. ун-т, 1998. – 271 с.

- Скворцов А.В.** Геоинформатика. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – 336 с.
- Сляднев А.П.** Географические основы климатического районирования и опыт их применения на юге-востоке Западно-Сибирской равнины / География Западной Сибири. Очерки природы и хозяйства. Сб. 1. – Новосибирск: Зап-Сиб. книжн. изд-во, 1965. – С. 3–122.
- Смирницкая Н.Н.** Использование ГИС-технологий в региональных и локальных экологических исследованиях (на примере Калужской области): дис. ... канд. геогр. наук. – Калуга, 2006. – 159 с.
- Соколов А.В.** Философия информации. Проф.-мировоз. пособие. – СПб.: СПбГУКИ, 2010. – 363 с.
- Сорокина Н.П.** Типизация земель крупного хозяйства Московской области на основе изучения структуры почвенного покрова // Структура почвенного покрова и организация территории. – М.: Наука, 1983. – С. 31–38.
- Сорокина Н.П.** Анализ факторов продуктивности сельскохозяйственных культур в целях агроэкологической оценки и построения региональных моделей плодородия почвенного покрова // Почвенное плодородие: информационные системы, модели, методы исследования. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1992. – С. 123–133.
- Сорокина Н.П.** Крупномасштабная картография почв в связи с агроэкологической типизацией земель // Почвоведение. – 1993. – № 9. – С. 37–46.
- Сорокина Н.П.** Элементарные почвенные структуры пахотных земель: опыт картографирования // Почвоведение. – 2000. – № 2. – С. 158–168.
- Сорокина Н.П., Козлов Д.Н.** Возможности цифрового картографирования структуры почвенного покрова // Почвоведение. – 2009. – № 2. – С. 198–210.
- Составление** крупномасштабных почвенных карт с показом структуры почвенного покрова / Л.Л. Шишов, Н.П. Сорокина, Е.И. Панкова. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1989. – 56 с.
- Спирidonov А.И.** Геоморфологическое картографирование. – М.: Недра, 1985. – 183 с.
- Стеклова Г.А., Федотова В.С.** Направления использования ГИС-технологий в землеустройстве и земельном кадастре // Царскосельские чтения. – 2014. – № 18. – С. 164–169.
- Степанов И.Н.** Истинные и ложные линии на почвенных картах // Почвоведение. – 1990. – № 3. – С. 128–146.
- Степанов И.Н.** Теория пластики рельефа и новые тематические карты. – М.: Наука, 2006. – 230 с.
- Степанов И.Н., Лошакова Н.А.** Московская область. Пластика рельефа. Почвы. М 1 : 350 000. – М.: Картографическое приложение к журналу «Лик», 1993.
- Танасиенко А.А.** Специфика эрозии почв в Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 175 с.
- Тархов Д.А.** Нейросетевые модели и алгоритмы: справочник. – М.: Радиотехника, 2014. – 349 с.
- Терехов С.А.** Лекции по теории и приложениям искусственных нейронных сетей, 1994. URL: http://alife.narod.ru/lectures/neural/Neu_ch01.htm (дата обращения: 05.10.2011).
- Терехов С.А.** Технологические аспекты обучения нейросетевых машин, 2006. URL: <http://neurolectures.narod.ru/2006/Terekhov-2006.pdf> (дата обращения: 05.10.2011).
- Технические** указания ГКО земель сельскохозяйственного назначения в субъектах Российской Федерации. – М.: Госкомзем, 2000. – 53 с.

Тикунев В.С. Современные средства исследования системы «общество – природная среда» // Изв. ВГО. – 1989. – Т. 121, вып. 4. – С. 299–306.

Тикунев В.С. Географические информационные системы: сущность, структура, перспективы // Картография и геоинформатика. Итоги науки и техники. Сер. картография. – М.: ВИНТИ АН СССР, 1991. – Т. 14. – С. 6–79.

Тикунев В.С. Классификация в географии: ренессанс или увядание? (опыт формализованных классификаций). – М.; Смоленск: Смоленский ун-т, 1997. – 367 с.

Токмаков Г.П. Базы данных. Концепция баз данных, реляционная модель данных, языки SQL и XML. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 192 с.

Толпин В.А., Баргалева С.А., Ефремов В.Ю. и др. Возможности информационного сервера СДМЗ АПК // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. – Т. 7, № 2. – С. 221–232.

Топаж А.Г. Принцип оптимальности в математической экологии // Фундаментальные и прикладные исследования в математической экологии и агроэкологии: материалы Междунар. школы-семинара, Барнаул, 22–24 июня, 2012. – Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2012. – С. 148–152.

Тохиян О.О., Гладков А.П., Кошкин К.К. Опыт использования открытого программного обеспечения в области ДЗЗ и ГИС в ОАО «НИИ ТП» // Геоматика. – 2015. – № 1. – С. 29–31.

Третьякова Г.Б. Обзор зарубежной и отечественной теории и практики оценки земельных участков сельскохозяйственного назначения // Вопросы оценки. – 2005. – № 1. – С. 3–9.

Трофимов А.М., Панасюк М.В. Геоинформационные системы и проблемы управления окружающей средой. – Казань: Казанский ГУ, 1984. – 142 с.

Труфляк Е.В. Интеллектуальные технические средства в сельском хозяйстве. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 42 с.

Тузовский А.Ф., Чириков С.В., Ямпольский В.З. Системы управления знаниями (методы и технологии) / Под общ. ред. В.З. Ямпольского. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 260 с.

Тюрин Ю.Н., Шмерлинг Д.С. Непараметрические методы статистики // Социология. – 2004. – № 18. – С. 154–166.

Ульман Дж. Основы систем баз данных. Пер. с англ. М.Р. Коголовского и В.В. Когутковского; под ред. М.Р. Коголовского. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 334 с.

Умывакин В.М. Интегральная эколого-хозяйственная оценка и управление земельными ресурсами в регионе. – Воронеж: ВГПУ, 2002. – 178 с.

Успенский В.А., Вьюгин В.В. Становление алгоритмической теории информации в России // Информационные процессы. – 2010. – Т. 10, № 2. – С. 145–158.

Уотермен Д. Руководство по экспертным системам: под ред. В.Л. Стефанюка. – М.: Мир, 1989. – 388 с.

Уэно Х., Исидзука М. Представление и использование знаний. – М.: Мир, 1989. – 220 с.

Федина А.Е. Физико-географическое районирование. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 128 с.

Флоринский И.В., Айлерс Р.Дж., Бертон Д.Л. и др. Прогнозное почвенное картографирование на основе цифрового моделирования рельефа // Геоинформатика. – 2009. – № 1. – С. 22–32.

Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. – М.: Мысль, 1972. – 422 с.

- Фридланд В.М.** Классификация СПП и типизация земель // Почвоведение. – 1980. – №11. – С. 5–17.
- Фридланд В.М.** Структуры почвенного покрова мира. – М.: Мысль, 1984. – 235 с.
- Хаггетт П.** Пространственный анализ в географии. – М.: Прогресс, 1968. – 391 с.
- Хайкин С.** Нейронные сети: полный курс. – М.: Вильямс, 2016. – 1103 с.
- Хартгли Р.** Передача информации // Теория информации и ее приложения. – М., 1959. – С. 5–35.
- Хворова Л.А., Брыксин В.М., Масленников Д.В.** Оценка возможности использования программного комплекса ЕРИС для прогноза урожайности Алтайского края // IV Сибирский конгресс по прикладной математике ИНПРИМ–2000, «Региональные проблемы развития Сибири и Дальнего востока». – Новосибирск: Институт математики, 2000. – С. 112.
- Хворова Л.А., Брыксин В.М., Гавриловская Н.В., Топаж А.Г.** Математическое моделирование и информационные технологии в экологии и природопользовании. – Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2013. – 277 с.
- Хромых В.В., Хромых О.В.** Цифровые модели рельефа. – Томск: Изд-во «ТМЛ-Пресс», 2007. – 178 с.
- Хургин В.** Об определении понятия «информация» // Информационные ресурсы России. – 2007. – № 3. URL: http://www.aselibrary.ru/datadocs/doc_571qu.pdf (дата обращения: 21.10.2015).
- Царегородцев В.Г., Погребная Н.А.** Нейросетевые методы обработки информации в задачах прогноза климатических характеристик и лесорастительных свойств ландшафтных зон // Методы нейроинформатики. – Красноярск: КГТУ, 1998. – С. 65–110.
- Цветков В.Я.** Геоинформационные системы и технологии. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 287 с.
- Цветков В.Я.** Геоинформационное моделирование // Информ. технологии. – 1999. – № 3. – С. 23–27.
- Цветков В.Я.** Основы геоинформационного моделирования // Геодезия и аэрофотосъемка. – 1999а. – № 4. – С.147–157.
- Цветков В.Я.** ГИС как система визуальной обработки информации // Изв. вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – № 5. – С. 143–147.
- Цветков В.Я.** Виды пространственных отношений // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 5. – С. 138–140.
- Цветков В.Я.** Системный анализ ГИС // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – № 1 (9). – С. 97–103.
- Ципилева Т.В.** Геоинформационные системы. – Томск: ТУСУР, 2010. – 119 с.
- Чандра А.М., Гош С.К.** Дистанционное зондирование и географические информационные системы. – М.: Техносфера, 2008. – 312 с.
- Червяков В.А., Киселева О.А.** Опыт изучения овражной эрозии с помощью карт полей плотности // Геоморфология. – 1976. – № 3. – С. 60–67.
- Черепанов Ф.М.** Симулятор нейронных сетей для вузов // Вестн. Пермского ун-та. – 2012. – Вып. 10. – С. 1–8.
- Черный Ю.Ю.** Полисемия в науке: когда она вредна? (на примере информатики) // Открытое образование. – 2010. – № 6. – С. 97–107.
- Чимитдоржиев Т.Н., Ефименко В.В.** Об использовании различных индексов вегетации в дистанционном зондировании экосистем // Исследование Земли из космоса. – 1998. – № 3. – С. 49–56.

- Чудинов И.Л., Осипова В.В.** Информационные системы и технологии. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 145 с.
- Шарый П.А.** Геоморфометрия в науках о земле и экологии, обзор методов и приложений // Изв. Самарского научного центра РАН. – 2006. – Т. 8, № 2. – С. 459–473.
- Шашко Д.И.** Агроклиматическое районирование СССР. – М.: Колос, 1967. – 336 с.
- Шаяхметов М.Р., Шойкин О.Д., Федяева Е.Ю.** Изучение особенностей дешифрирования почвенного покрова степной зоны Западной Сибири на основе материалов дистанционного зондирования Земли // Омский научный вестник. – 2015. – № 1 (138). – С. 191–193.
- Шеннон К.** Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. – 830 с.
- Шевин А.В.** Геопорталы как базовые элементы инфраструктуры пространственных данных: анализ текущего состояния вопроса в России // Вестн. СГУГиТ. – 2016. – Вып. 3 (35). – С. 102–110.
- Шоба С.А., Алябина И.О., Колесникова В.М. и др.** Почвенные ресурсы России. Почвенно-географическая база данных. – М.: ГЕОС, 2010. – 128 с.
- Шокин Ю.И., Антонов В.Н., Добрецов Н.Н. и др.** Распределенная система приема и обработки спутниковых данных Сибири и Дальнего Востока. Текущее состояние и перспективы развития // Совр. пробл. дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 5. – С. 45–54.
- Шокин Ю.И., Добрецов Н.Н., Кихтенко В.А. и др.** О распределённой инфраструктуре системы оперативного спутникового мониторинга ЦКП ДДЗ СО РАН // Вычислительные технологии. – 2013. – Т. 18. – С. 86–94.
- Экология.** Экономика. Информатика. Сб. статей: в 2 т. Геоинформационные технологии и космический мониторинг – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. – Т. 2, вып. 1. – 348 с.
- Экспертные системы.** Принципы работы и примеры / А. Брукинг, П. Джонс, Ф. Кокс и др.; под ред. Р. Форсайта. Пер. с англ. С.И. Рудаковой, под ред. В.Л. Стефанюка. – М.: Радио и связь, 1987. – 224 с.
- Экспертные системы:** уч. пособие: сост. А.Н. Никулин. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – 78 с.
- Южаков А.И., Добротворская Н.И.** Система экспертной оценки сравнительной продуктивности почв // Тез. докл. II съезда об-ва почвоведов. 27–30 июня 1996 г. С-Петербург. – СПб., 1996. – Кн. 2. – С. 247–249.
- Южаков А.И., Добротворская Н.И.** Система экспертной оценки продуктивности почв с использованием ГИС-технологий // Информационные технологии, информационные измерительные системы и приборы в исследовании сельскохозяйственных процессов / Материалы междунар. науч.-практ. конф. «АГРОИНФО-2003» (Новосибирск, 22–23 октября 2003 г.). – Новосибирск: РАСХН. Сиб. отд-ние, 2003. – Ч. 2. – С. 107–110.
- Юодис Ю.К.** О структуре почвенного покрова Литовской ССР // Почвоведение. – 1967. – № 11. – С. 50–55.
- Якубайлик О.Э.** Геоинформационный интернет-портал // Вычислительные технологии. – 2007. – Т. 12, № S3. – С. 117–126.
- Якубайлик О.Э., Кадочников А.А., Попов В.Г., Токарев А.В.** Модель геоинформационной аналитической Интернет-системы для анализа состояния и презентации региона // Вестн. СибГАУ. – 2009. – № 4. – С. 61–66.

- Якушев В.В.** Точное земледелие: практика внедрения и перспективы // Нивы Зауралья. – 2015. – № 9 (131). – С. 58–59.
- Якушев В.В.** Точное земледелие: теория и практика. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. – 364 с.
- Якушев В.П.** На пути к точному земледелию. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2002. – 458 с.
- Якушев В.П.** Физико-технические и аппаратно-программные средства ресурсосберегающего прецизионного производства растениеводческой продукции // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2013. – Вып. 84. – С. 192–197.
- Якушев В.П.** Совершенствование информационного обеспечения сельскохозяйственного производства // Вестн. РАСХН. – 2014. – № 1. – С. 17–19.
- Якушев В.П., Петрушин А.Ф.** Компьютерное синтезирование адаптивных технологий в земледелии и растениеводстве // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «АГРОИНФО-2000». – Новосибирск: РАСХН. Сиб. отд-ние, 2000. – С. 41–45.
- Якушев В.П., Петрушин А.Ф.** Методология проектирования компьютерных систем поддержки решений в агрономии // Сб. докл. междунар. конф. по мягким вычислениям. – СПб.: СЭТУ. – 2000. – С. 137–140.
- Якушев В.П., Михайленко И.М., Петрушин А.Ф., Якушев В.В.** Программно-аппаратный комплекс поддержки принятия технологических решений в точном земледелии // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «АГРОИНФО-2003». – Новосибирск: РАСХН. Сиб. отд-ние, 2003. – С. 16–23.
- Якушев В.П., Якушев В.В.** Информационное обеспечение точного земледелия. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007. – 384 с.
- Якушев В.П., Якушев В.В.** Математические модели и методы реализации информационно-технологических приемов в точном земледелии // Докл. РАСХН. – 2008. – № 4. – С. 56–59.
- Якушев В.П., Полуэктов Р.А., Петрова М.В. и др.** Имитационно-экспертная система поддержки агротехнологических решений (концепция) // Вестн. РАСХН. – 2008. – Т. 5. – С. 7–10.
- Якушев В.П., Полуэктов Р.А., Петрова М.В. и др.** Имитационно-экспертная система поддержки агротехнологических решений (реализация) // Вестн. РАСХН. – 2008а. – Т. 6. – С. 6–9.
- Якушев В.П., Якушев В.В., Петрушин А.Ф.** Автоматизированная система планирования комплекса агротехнических мероприятий. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010616508 от 1 октября 2010 г.
- Ясницкий Л.Н.** Введение в искусственный интеллект. 3 изд. – М.: Изд. центр «Академия», 2010. – 176 с.
- Abler R.** The National Science Foundation National for Geographic Information and Analysis. – Int. J. of Geographical Information Systems. – 1987. – Vol. 1, N 4. – P. 302–306.
- Abstracts** of the 2nd International Symposium «Space & Global Security of Humanity». – Riga, 2010. URL: <http://spacesystems.tsi.lv>.
- Adams J.B., Gillspie A.R.** Remote sensing of Landscapes with spectral Images: an Physical Modeling approach; Cambridge University Press: Cambridge UK, 2006. – P. 126–183.
- AGRO-ECOLOGICAL ZONING.** Guidelines.FAO Soils Bulletin 73. Soil Resources, Management and Conservation Service. FAO Land and Water Development Division.Rome, 1996. URL: <http://www.fao.org/docrep/w2962e/w2962e00.htm>. (дата-обращения: 07.10.2015)

- Ahmed G., Magaly K, Farouk El-Baz** Textural and compositional characterization of Wadi Feiran Depost, Sinai Peninsula, Egypt, using Radarsat-1, PALSAR, SRTM and ETM+ Data // *Remote Sens.* – 2010. – N 2. – P. 52–75.
- Bevilacqua M., Braglia M.** The analytic hierarchy process to maintenance strategy selection // *Reliability Engineering and System Safety.* – 2000. – N 70. – P. 71–83.
- Burns J.** Converting Signed Digraphs to Forrester Schematics and Converting Forrester Schematics to Differential Equations / *IEEE Trans, on SMC.* – 1977. – Vol. 7. – N 10. – P. 695–707.
- Chen C., Yue T.** A Method of Dem construction and related error analysis // *Computers & Geosciences.* – 2010. – Vol. 36. – P. 717–725.
- Clarce K.C.** Geographic information systems: definitions and prospects. – *Bull. Geogr. And Map Div. Sprc. Libr. Assoc.* – 1985. – N 142. – P. 12–17.
- Danielson T.** Utilizing a High Resolution Digital Elevation Model (DEM) to Develop a Stream Power Index (SPI) for the Gilmore Creek Watershed in Winona County, Minnesota (дараобращения: 28.12.2016).
- Degani A.** Methodological observation on the state of geocartographic analysis in the context of automated spatial information systems. – *Map. Data Process.* – *Proc. NATO Adv. Study Inst. Maratea, June 18–29, 1979, Acad. Press.* – 1980. – P. 207–220.
- Dixon K.R., Luxmoore R.J., Begovich C.L.** CERES a model of forest stand biomass dynamics for predicting trace contaminant, nutrient and water effects. 2. Model application // *Ecol. Modelling.* – 1978. – N 5. – P. 93–114.
- Dobos E., Carriü F., Hengl T., Reuter H.I., Tyth G.** Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. 2006. EUR 22123 EN, 68 p. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg.
- Erosion Vulnerability Assessment for Agricultural Lands (EVAAL).** Wisconsin Department of Natural Resources. 2016. URL: обращения: 28.12.2016).
- Evangelos T, Stuart H. Mann** Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications: some challenges // *Inter. Journal of Industrial Engineering: applications and practice.* – 1995. – vol. 2. – No.1. – P. 35–44.
- Feigenbaum E.A.** The art of artificial intelligence: Themes and case studies of knowledge engineering / *The fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence.* – Boston: MIT, 1977. – P. 1014–1029.
- Feigenbaum E.A.** Themes and case studies of knowledge engineering / *Expert system in micro electronic age.* – Edinburgh: Infotach Limited, 1979. – PP. 3–25.
- Finke P., Hartwich R., Dudal R., Ibacez J., Jamagne M., King D., Montanarella L., Yassoglou N.** Georeferenced Soil Database for Europe. Manual of procedures. Version 1.1. – Edited by European Soil Bureau, 2001. – 178 p.
- Florunsky I.** Digital Terrain Analysis in soil science and geology. – Elsevier, 2012. – 379 p.
- Gagnon L., Bugnet P., Gavayas F.** Texture based segmentation of temperate-zone woodland in panchromatic IKONOS imagery// *Conference on «Geo-Spatial and Temporal Image and Data Exploitation III» Orlando. Proc. SPIE.* 2003. – P. 130–140.
- Geomorphometry: Concepts, Software, Applications** / by editing Tomislav Hengl, Hannes I. – Reuter, 2009. – 765 p.
- Global and National Soils and Terrain Digital Databases (SOTER).** / Ed. V.W.P. van Engelen and T.T.Wen. – International Soil Reference and Information Centre, 1995, – 138 p.
- Hanuschak G., Hale R., Craig M., Mueller R. and Hart G.** The New Economist of Remote Sensing for Agricultural Statistics in the United States. *Proceedings of the CAESAR Conference, June 2001, Italian Statistics Agency (ISTAT), Rome Italy.*

- Hegl T.** Pedometric mapping bridging the gaps between conventional and pedometric approaches // Phd Tesis, Wageningen University. ITC Dissertation No, The Netherlands, 2003. – 214 p.
- Hegl T.** Hiding the right pixel size // Computers and Geosciences. – 2006. – Vol. 32 (9). – P. 1283–1298.
- Hofierka J., Parajka J., Mitasova H., Mitas L.** Multivariate interpolation of precipitation using regularized spline with tension // Transactions in GIS. – 2002. – N 6 (2). – P. 135–150.
- Hutchinson M.F.** A new method for gridding elevation and stream line data with automatic removal of pits // Journal of Hydrology. – 1989. – Vol. 106. – P. 211–232.
- Hutchinson M.F., Gallant J.C.** Digital elevation models and representation of terrain shape / Terrain Analysis: Principles and Applications. – New York, John Wiley and Sons, 2000. – P. 29–50.
- Ivanova Yu.D., Bartsev S.I., Pochekutov A.A., Kartushinski A.V.** The analysis of seasonal activity of photosynthesis and efficiency of various vegetative communities on a basis NDVI for modeling of biosphere processes // Adv. Space Res. – N 1 (39). – 2007. – P. 95–99.
- Jenks G.F.** The Data Model Concept in Statistical Mapping // International Yearbook of Cartography. – 1967. – N 7. – P. 186–190.
- Jones J.W., Hoogenboom G., Porter C.H., Boote K.J., Batchelor W.D., Hunt L.A., Wilkens P.W., Singh U., Gijsman A.J., Ritchie J.T.** The DSSAT cropping system model // Europ. J. Agronomy. – 2003. – Vol. 18. – P. 235–265.
- Kalichkin V.K., Pavlova A.I.** Application of Automated Geoimage analysis methods for Agro-Ecological Assessment of Lands // Bulg. Journ. of Agric. Sci. – 2011. – Vol. 17, N 5. – P. 649–654.
- Konecny M.** Geograficke informacni systemy. – Folia prirodoved. fak. UJEP v Brne. – 1985. – Vol. 26, N 13. – 196 p.
- Langeforce D.** Teoretical Analisis of Information Systems. Lund, 1966. URL: <http://cnit.pgu.serpukhov.su>. (дата обращения: 12.10.2011)
- MacDonald K.B., Valentine K.W.G.** CanSIS/NSDB A General Description. 1992. Centre for Land and Biological Resources Research. Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa. CLBRR Contribution Number 92–35. – 40 p.
- McKenzie N.J., Jacquier D.W., Maschmedt D.J., Griffin E.A., Brough D.M.** The Australian Soil Resource Information System. Technical specifications. Version 1.5. – 2005. – 93 c.
- Markelov V.** Application Geodata in Logistics // European Researcher. – 2012. – Vol. 33, N 11-1. – P. 1835–1837.
- Markelov V.** Geoinformation Modeling in Logistics // European Journal of Technology and Design. – 2013. – Vol. 2, N 2. – P. 129–133.
- Matheron G.** Splines ang Kriging: their formal equivalence / Syracuse University Geological Contributions, 1981. – P. 77–95.
- Mather P.M.** Computer Processing of Remotely-sensed Images: an introduction, 3 rd ed.; John Wileys & Sons; Chichster, UK, 2004. – 324 p.
- Saaty T.L.** How making a decision the analytic hierarchy process // European Journal of Operational Research. – 1990. – Vol. 48. – P. 9–29.
- Saaty T.L.** Decision making with the analytic hierarchy process // Int. Services Sciences. – 2008. – Vol. 1, N 1. – P. 83–98.
- Simon H.** The structure of ill-structed problems // Artificial Intelligtnce. – 1973. – Vol. 4. – P. 181–201.

- Studies** on Environmental and applied geomorphology / edited by Tommas Piacentini and Enrico Miccadei. – Croatia, 2012. – 280 p.
- Sudhanshu Sekhar Panda, Daniel P.** Ames, Suranjan Panigrahi Application of Vegetation Indices for agricultural crop yield prediction using neural network techniques // *Remote Sensing*. – 2010. – N 3. – P. 673–696.
- Tan Q., Xu X.** Comparative Analysis of Spatial Interpolation methods: an experimental study // *Sensors & Transducers* – 2014. – Vol. 165. – issue 2. – P. 155–163.
- The Global Earth Observation System of Systems (GEOSS). 10-Year Implementation Plan** (As adopted 16 February 2005). URL: <http://www.earthobservations.org/documents/10-Year%20Implementation%20Plan.pdf>
- Tempel P.** SOTER – Global and National Soils and Terrain Digital Databases. Database Structure v 3. – Working paper No. 02/01, September 2002. – 93 p.
- UN Committee of Experts on Global Geospatial Information Management.** Future trends in geospatial information management: the five to ten year vision. (eds.) – Англ. – Режим доступа: (дата обращения 07.10.2016).
- Using ArcGIS Spatial Analyst** / McCoy, J., Johnston, K., Kopp Steve et al. , USA: ESRI Press, Redland, CA, 2001. – 232 p.
- Wajid A., M.H.U. Rahman A. Ahmad et al.** Simulating the interactive impact of nitrogen and promising cultivars on yield of lentil (*Lens culinaris*) using CROPGRO-legume model // *Int. J. Agric. Biol.* – 2013. – N 15. – P. 1331–1336.
- Watson F., Philip G.M.** A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation, *Geoprocessing*, 1985. – PP. 315–327.
- Weng Q., Riedl A., Kainz W., Elmes G.A.** An evaluation of spatial interpolation accuracy of elevation data // *Progress in Spatial In: Data Handling*. – Berlin: Springer-Verlag, 2006. – P. 805–824.
- Wilson J.P.** *Terrain Analysis: Principles and Applications*, 2000. – 520 p.
- Yun Z.** Texture-Integrated Classification of Urban Treed Areas in high-resolution color infrared imagery // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. – 2001. – Vol. 67, N 12. – P. 1359–1365.
- Zeveloff L.W., Thorne C.R.** Quantitative Analysis of Land Surface Topography // *Earth Surface Processes and Landforms*. – 1987. – N 12. – P. 47–56.
- Zimmerman D. Pavlik C., Ruggles A., Armstrong M.** An experimental comparison of ordinary and universal kriging and inverse distance weighting // *Mathematical Geology*. – 1999. – N 31. – P. 375–390.

В.К. КАЛИЧКИН, А.И. ПАВЛОВА

АГРОНОМИЧЕСКИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

МОНОГРАФИЯ

Корректор и оператор электронной верстки *В.Е. Селянина*
Художник *Н.Ю. Бориско*

Подписано в печать 15.01.2018. Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Объем 22 печ. л.
Тираж 500 экз. Заказ № 55

Отпечатано в Сибирском федеральном научном центре агробиотехнологий
Российской академии наук
630501, р.п. Краснообск, Новосибирский район, Новосибирская область,
здание СФНЦА РАН, а/я 463