

А. Н. Червань

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ И ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА БЕЛАРУСИ

*Рекомендовано
Учебно-методическим объединением
по естественно-научному образованию
в качестве учебно-методического пособия
для студентов, обучающихся по специальностям
«география», «геоэкология»,
«геоинформационные системы», «геотехнологии
туризма и экскурсионная деятельность», «страноведение
и переводческая деятельность»*

УДК 631.47:004(075.8)
ББК 40.3с515я73
Ч-45

Рецензенты:

кафедра географии и экологии человека
Белорусского государственного педагогического университета
имени Максима Танка (заведующий кафедрой
кандидат географических наук, доцент *А. В. Таранчук*);
доктор географических наук, доцент *В. С. Хомич*

Червань, А. Н.

Ч-45 Геоинформационная формализация и геостатистический анализ
почвенного покрова Беларуси : учеб.-метод. пособие / А. Н. Червань. –
Минск : БГУ, 2025. – 175 с. : ил.
ISBN 978-985-881-767-1.

Рассмотрены основные способы формализации почвенного покрова с использованием геоинформационных технологий и функциональные возможности пространственного анализа почвенных и земельно-кадастровых данных в программной среде ГИС.

Для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальностям «география», «геоэкология», «геоинформационные системы», «геотехнологии туризма и экскурсионная деятельность», «страноведение и переводческая деятельность».

УДК 631.47:004(075.8)
ББК 40.3с515я73

ISBN 978-985-881-767-1

© Червань А. Н., 2025
© БГУ, 2025

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время наблюдается увеличение значимости почвенных и земельных ресурсов, оперативной автоматизированной оценки их качественного состояния с целью эффективного использования и прогнозирования. Применение системного анализа почв и почвенного покрова обуславливает успешное решение специалистами комплексных географических задач как в фундаментальных исследованиях, так и в практической деятельности. Обилие технологий почвенного обследования и, соответственно, разноформатных данных и сведений о почвенном покрове актуализирует применение геоинформационных средств для анализа, учета и картографирования почв при подготовке специалистов в данной области. Обучающиеся должны знать приемы почвенного картографирования с использованием геоинформационных технологий, картометрического анализа территории в аспекте разных видов природопользования, а также основные способы пространственного и геостатистического анализа в геоинформационной программной среде.

Предлагаемое учебно-методическое пособие состоит из трех разделов, в которых рассмотрены основные вопросы геоинформационной формализации и геостатистического анализа почвенного покрова Беларуси, а также соответствующих заданий и приложений, где представлены списки почвенных комбинаций.

Автор выражает благодарность главному научному сотруднику лаборатории оптимизации геосистем Института природопользования Национальной академии наук Беларуси В. С. Хомичу, заведующему кафедрой географии и экологии человека Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка А. В. Таранчук, доценту данной кафедры В. Л. Андреевой за ценные рекомендации по совершенствованию содержания учебно-методического пособия, а также работникам управления редакционно-издательской работы Белорусского государственного университета за подготовку рукописи к изданию.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АЛСЗ – адаптивно-ландшафтная система земледелия
АТЕ – административно-территориальная единица
АФС – аэрофотоснимок
БПД – базовые пространственные данные
ВТМ – векторная топологическая модель
ГИС – географическая информационная система
ГЗК – государственный земельный кадастр
ГТК – гидротермический коэффициент
ДДЗ – данные дистанционного зондирования
ДЗЗ – дистанционное зондирование Земли
ЕГРНИ – единый государственный регистр недвижимого имущества, прав на него и сделок с ним Республики Беларусь
ЗИС – земельная информационная система
ИПД – инфраструктура пространственных данных
КПД – класс пространственных данных
ПРП – почвенно-ресурсный потенциал
ПЭП – почвенно-экологическая провинция
РМД – растровая модель данных
СПП – структура почвенного покрова
ЦБКММ – цифровая базовая картографическая модель местности
ЦМР – цифровая модель рельефа
ЦПК – цифровая почвенная карта; цифровое почвенное картографирование
ЭПА – элементарный почвенный ареал
ФАО – Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций
ЭПС – элементарная почвенная структура
ID – идентификатор объекта в базе геоданных

1. ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ БЕЛАРУСИ: СОСТАВ, СТРУКТУРА, СОСТОЯНИЕ

Важной частью почвенно-географического образования является изучение почвенного покрова Беларуси. Почвенный покров республики достаточно разнообразен, что обусловлено как естественно-историческими факторами почвообразования, так и высокой долей хозяйственно освоенных территорий.

Геологическое строение территории определяется ее положением в западной части Русской равнины, в которой представлены два структурных этажа: кристаллический фундамент архейско-среднепротерозойского возраста и осадочный чехол отложений от верхнего протерозоя до антропогена. Отложения антропогеновой системы сплошным покровом перекрывают образования более древних эпох и повсеместно служат почвообразующими породами. Мощность их варьирует в широких пределах (в среднем 80–90 м). Породы гляциального и флювиогляциального генезиса составляют основную часть в литологическом составе антропогеновой толщи. Органогенные почвообразующие породы имеют широкое распространение на территории, в восточной и центральных частях преобладают лессовые и лессовидные отложения¹.

Почвообразующие породы – одна из составляющих твердой фазы почвы, предопределяющая ее начальные минеральные, химические и физико-химические характеристики. Они также определяют гранулометрический, минералогический и химический составы почвы, ее основные физические, физико-химические, водно-воздушные и тепловые свойства и режимы. Почвообразующие породы, в соответствии с параметрами рельефа, влияют не только на динамику почвообразовательных процессов, но и на формирование структуры и неоднородности почвенного покрова в различных почвенно-экологических зонах республики.

В связи со сложным геологическим строением для рассматриваемой территории характерно наличие не только однородных по структуре горных пород, но и сложных двух- и трехкомпонентных отложений. Это разнообразие влияет как на процессы почвообразования, так и на показатели продуктивной способности почв в агроландшафтах.

Рельеф играет основную роль в распределении тепла (солнечной радиации), влаги и растворенных веществ в форме молекулярных и коллоидных растворов, а также твердых частиц с их выносом или аккумуляцией. Рельеф Беларуси формировался длительное время в результате протекания различных геологических процессов, обусловленных в первую очередь

¹ Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.] ; под общ. ред. В. В. Лапы, А. Ф. Черныша ; Ин-т почвоведения и агрохимии. Минск, 2017.

деятельностью ледников. Это привело к возникновению обширных холмистых возвышенностей, сменяющихся плоскими и расчлененными речными долинами, равнинами и слабовогнутыми низинами. Низины занимают более 40 % земель республики, возвышенные холмистые районы – 30, а около 10 % земель представлено платообразными равнинами. Влияние рельефа на почвообразование наиболее выражено в северной части страны. Абсолютные высоты холмистых возвышенностей варьируют от 120–150 до 300–350 м, среднее значение составляет 180–200 м. Равнины находятся на высотах от 100 до 240 м над уровнем моря. Долинный рельеф также играет важную роль в почвообразовании, так как речные долины занимают значительную площадь и часто сильно увлажнены, что обуславливает формирование торфяно-болотных почв на значительной их части. Географическое распространение типов и форм рельефа обуславливает основные факторы почвообразования, что имеет значение для почвенных классификаций, территориальных единиц почвенно-географического и почвенно-экологического районирования.

Климат Беларуси характеризуется умеренно континентальными условиями с незначительными колебаниями температур, достаточным объемом твердых и жидких осадков и переменной погодой. На формирование указанных климатических особенностей влияет активная циклональная деятельность Атлантического океана, что в первую очередь проявляется в северо-западном и центральном регионах страны. Температура и влажность в пределах республики изменяются постепенно, что обеспечивает умеренные темпы почвообразования. По среднему годовому количеству осадков (540–700 мм) территория Беларуси принадлежит к зоне с достаточным уровнем увлажнения, в то время как южные и юго-восточные районы имеют признаки неустойчивого увлажнения (табл. 1.1). Климатические условия в республике способствуют не только развитию природной флоры и росту сельскохозяйственных культур, но и активному проявлению зональных процессов формирования почвы.

Таблица 1.1

Агроклиматическая характеристика почвенного покрова Беларуси

Основной показатель	Почвенно-экологическая провинция		
	Северная	Центральная	Южная
Средняя температура июля, °C	17,0–17,8	17,4–18,2	18,0–18,5
Средняя температура января, °C	от –6,4 до –8,1	от –5,2 до –7,5	от –4,8 до –6,8
Продолжительность периода в днях со среднесуточной температурой воздуха выше:			
0 °C	227–237	235–253	245–260
5 °C	184–189	187–200	198–204
10 °C	138–145	144–155	153–157
15 °C	727–84	86–100	98–105

Основной показатель	Почвенно-экологическая провинция		
	Северная	Центральная	Южная
Продолжительность безморозного периода (дней)	140–150	145–160	155–160
Сумма температур за вегетационный период выше:			
5 °C	2380–2500	2540–2730	2720–2800
10 °C	2040–2180	2220–2380	2370–2480
Количество осадков, мм:			
за год	620–700	590–680	560–650
апрель – октябрь	440–480	420–460	410–450
Число дней со снежным покровом	95–110	75–100	70–85

Формирование растительных сообществ, характеризующихся количеством и составом растительной подстилки, и окислительно-восстановительный режим почв во многом определяются местными условиями увлажнения. Влажность является основным фактором морфологического облика белорусских почв. При наличии глубоких грунтовых и отсутствии поверхностных вод в профиле почв создаются аэробные условия, происходят окислительные явления, интенсивно минерализуется органическое вещество. В данных условиях формируются автоморфные почвы без признаков переувлажнения.

Избыточное увлажнение почв на низменных участках, связанное с замедленным поверхностным стоком и высоким уровнем грунтовых вод и реже с наличием водоудерживающих слоев, приводит к формированию гидроморфных и полугидроморфных почв в условиях болотного процесса почвообразования. Площадь избыточно увлажненных почв в разных административных районах значительно различается (рис. 1.1). В Гродненской и Могилевской областях нет ни одного района, где площадь заболоченных почв сельскохозяйственных земель превышала бы 80 %¹.

Процессы формирования заболоченных почв характеризуются анаэробными условиями и восстановительными процессами в почвенно-поглощающем комплексе. Анаэробные условия снижают активность окислительных процессов и ослабляют минерализацию органического вещества.

На территории Беларуси зона лесов разделяется на три подзоны: дубово-темнохвойных, грабово-дубово-темнохвойных и широколиственно-сосновых лесов. Под воздействием живых организмов происходят как синтез, так и разрушение органического вещества. Характер органического вещества, накапливающегося в верхних горизонтах почвы, зависит от химического состава растительности и условий переработки ее отмерших частей.

¹ Методика агроэкологической оценки почвенно-ресурсного потенциала эрозийных и заболоченных агроландшафтов северной, центральной и южной провинций Беларуси / Н. Н. Цыбулько [и др.]. Минск, 2019.

Группа	Доля, %	Количество районов
1-я	40,0 и менее	3
2-я	40,1–60,0	46
3-я	60,1–80,0	48
4-я	80,1 и более	21

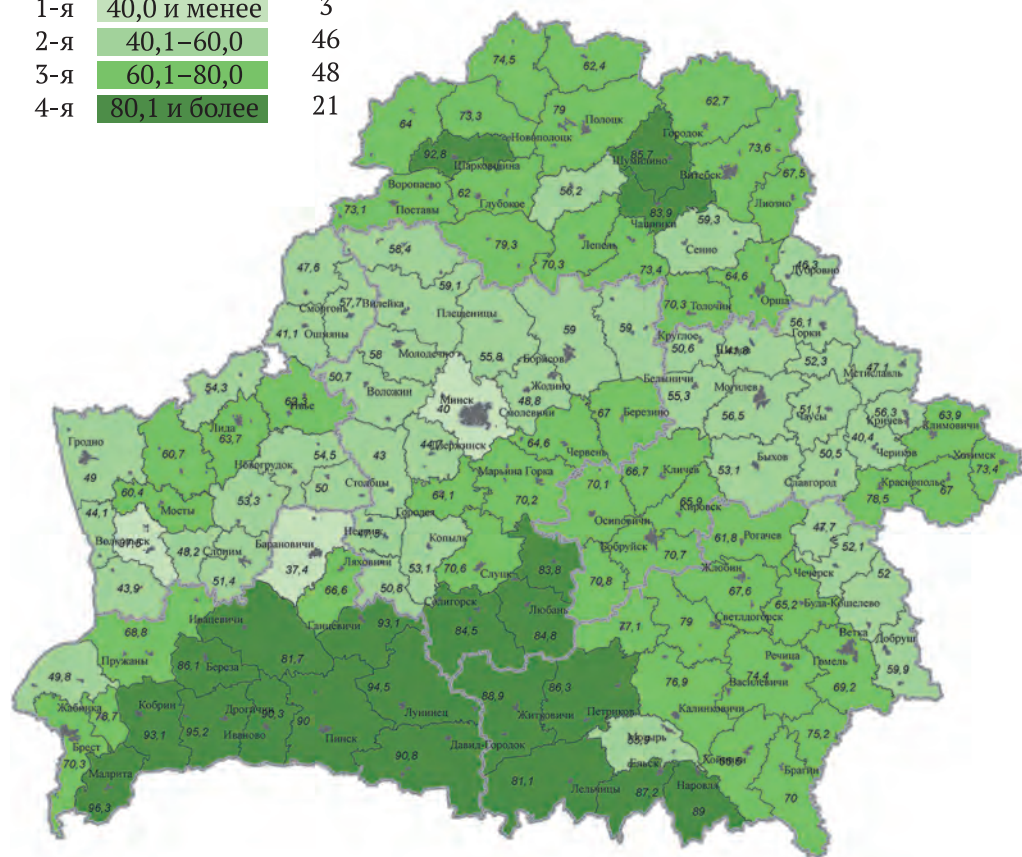


Рис. 1.1. Удельный вес переувлажненных почв в административных районах республики

Особенности естественной растительности тесно связаны с почвообразованием. На рис. 1.2 отражено сходство пространственных структур ландшафтов и почвенного покрова в наименее антропогенно измененной территориальной единице республики – Березинском биосферном заповеднике, что свидетельствует о тесной связи ландшафтов, растительности и почвообразовательных процессов¹. В соответствии с легендой карты представлены следующие типы ландшафтов: 1) камово-моренные; 2) моренно-озерные; 3) водно-ледниковые; 4) озерно-аллювиальные; 5) озерно-болотные; 6) речных долин; 7) озовые гряды. Типы почв включают: 1) дерново-заболоченные; 2) дерново-подзолистые; 3) дерново-подзолистые заболоченные;

¹Chervan A. N., Kindeev A. L., Sazonov A. A. Soil Cover Patterns and Podo- and Biodiversity of the Berezinsky Biospheric Reserve // Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55. № 10. P. 1348–1359. DOI: 10.1134/S1064229322100027.

4) подзолистые аллювиальные; 5) аллювиальные (пойменные) дерновые; 6) аллювиальные болотные; 7) торфяно-болотные верховые; 8) торфяно-болотные низинные. Комплекс факторов внешней среды обуславливает развитие характерной растительности, которая оказывает влияние на накопление органического вещества, его распад и тем самым на развитие почвообразовательных процессов¹.

Животные синтезируют и разрушают органическое вещество, увеличивают активность почвенных ферментов, ускоряют биологический круговорот элементов. Видовой состав и численность почвенной фауны в определенной степени являются индикатором типов и свойств почв и могут служить показателем их продуктивной способности в агроценозах.

Гидротехническая и культуртехническая мелиорация, внесение удобрений и мелиорантов, а также другие виды хозяйственной деятельности неизбежно изменяют структуру почвенного покрова и строение профиля почв, их физические свойства и агрохимические показатели. Антропогенное изменение почв приводит к преобразованию влияния природных факторов почвообразования: микроклимата приземного слоя атмосферы, гидротермического режима, реже микрорельефа, а также к смене растительных ассоциаций, химического состава и водно-физических свойств почвообразующих пород. Осушение торфяно-болотных почв, сопровождающееся снижением уровня грунтовых вод глубже одного метра, приводит к формированию экологически нестабильных условий для всего агроландшафта. С течением времени уменьшается влагоемкость почвы, повышается ее кислотность, усиливается минерализация торфа и, как следствие, снижается ее продуктивная способность.

Время – важнейший фактор в почвообразовании, поскольку процесс формирования полноценных почв занимает определенный период. Характер растительности, время воздействия биологического фактора на материнскую породу и конкретные условия (климат, рельеф), в которых протекает процесс почвообразования, приводят к разным формам его проявления, а также к образованию почв с различными свойствами и плодородием. С течением времени морфологические признаки почв меняются. Под влиянием других факторов почвообразования морфологические различия между почвообразующей породой и почвой усиливаются. Почва развивается в суточных, годовых, многолетних и вековых гидротермических ритмах. В соответствии с данными ритмами меняются (усиливаются или ослабевают) скорость и направление почвенных процессов. Динамизм почв определяется их биологической активностью.

Процессы почвообразования – важнейшая составляющая триады «факторы – процессы – свойства почв». В Беларуси распространение получили дерновый, подзолистый, болотный, солончаковый почвообразовательные процессы и буроземообразование.

¹Клебанович Н. В. Почвоведение и земельные ресурсы : учеб. пособие. Минск, 2013.

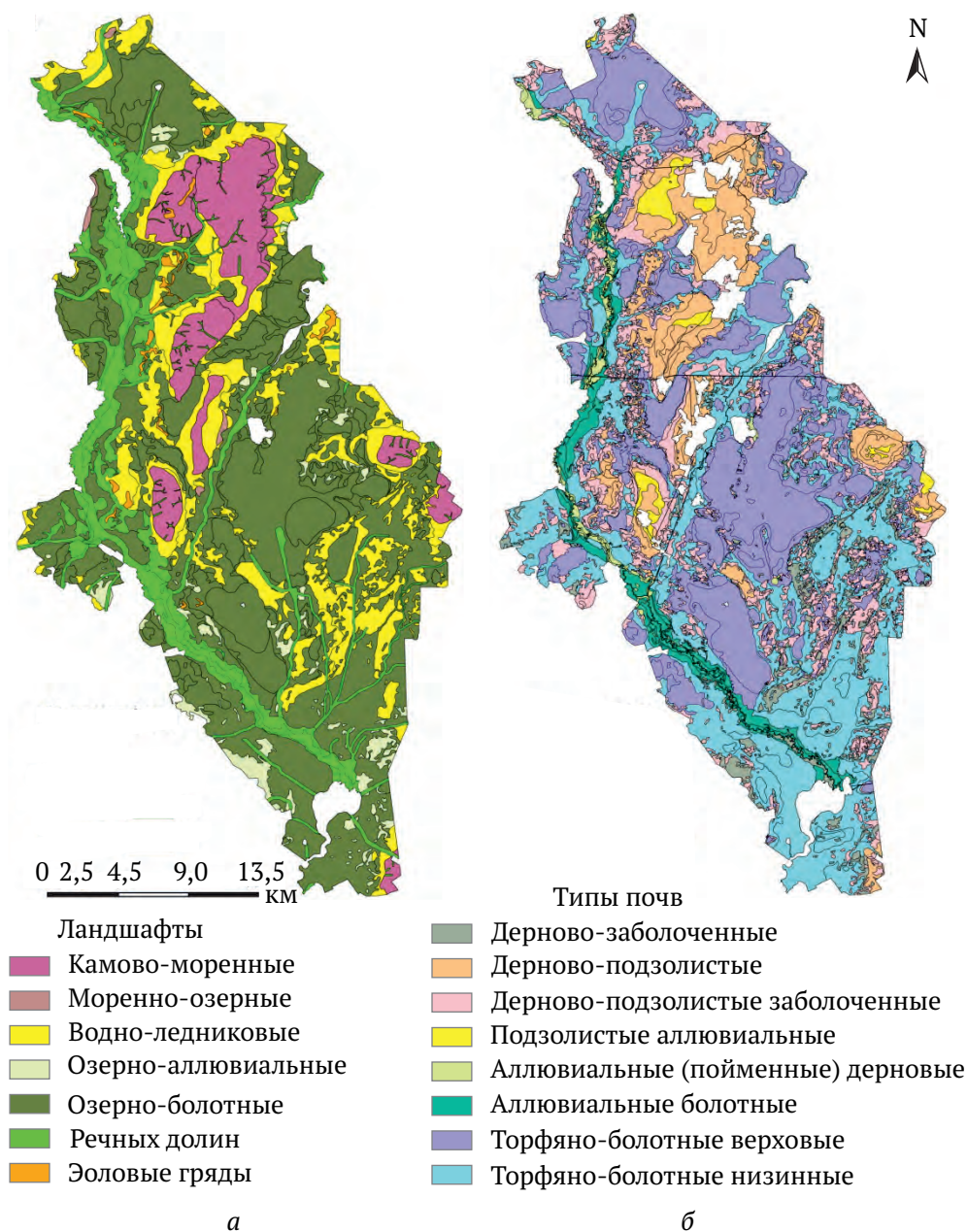


Рис. 1.2. Биогенный фактор в почвообразовании
на примере Березинского биосферного заповедника:
а – ландшафтная карта; *б* – почвенная карта

Многостороннее влияние человека на почвообразование общепризнано. Сельскохозяйственная обработка земель, дерновый почвообразовательный процесс – это явления, обусловленные развитием травянистой растительности. Их главной особенностью является способность накапливать в почве

органические остатки и создавать благоприятные свойства, определяющие плодородие. Дерновый почвообразовательный процесс происходит на травянистых лугах и в лесах и приводит к формированию характерных типов дерновых почв и почв, в которых данный процесс сочетается с другими¹. В условиях Беларуси дерновый почвообразовательный процесс, как правило, совмещается с подзолистым или болотным, а также часто происходит совместно с формированием соответствующих типов почв.

Подзолистый почвообразовательный процесс развивается под пологом хвойной растительности при полном отсутствии травянистого покрова. Основную роль в подзолообразовании играет лесная подстилка, разложение которой приводит к образованию светлоокрашенных органических кислот, являющихся важнейшим фактором почвообразования². На рис. 1.3 представлены окислительно-восстановительные условия в почвенном покрове Беларуси. Формируется обедненный коллоидами и полуторфными окислами подзолистый горизонт окраски светлых тонов, состоящий в основном из труднорастворимого кварца.

Болотный почвообразовательный процесс протекает при избыточном увлажнении в анаэробных условиях. Он характеризуется медленным разложением отмерших растительных остатков, которые интенсивно накапливаются на поверхности почвы в виде торфа, и отсутствием вымывания продуктов жизнедеятельности анаэробных бактерий в нижележащие горизонты.

Буроземообразование – процесс внутрипочвенного выветривания первичных минералов с оглинением и ожелезнением на месте без существенного перемещения продуктов разложения в сочетании с дерновым элементарным почвообразовательным процессом и лессиважем.

Солончаковый процесс в Беларуси представлен накоплением вторичных карбонатов из жестких грунтовых вод в условиях локально проявляющегося выпотного водного режима.

Кроме основных процессов почвообразования, в Беларуси протекают элементарные почвенные процессы – специфические явления, приводящие к образованию того или иного признака почвы. Выделяют биогенно-аккумулятивные (подстилкообразование, гумусообразование, торфообразование, формирование дернины), гидрогенно-аккумулятивные (засоление, оруденение, олуговение, кольматаж), метаморфические (оглинивание, ожелезнение, оглеение), элювиальные (выщелачивание, оподзоливание, лессиваж), иллювиально-аккумулятивные (глинисто-иллювиальный, гумусово-иллювиальный, железисто-иллювиальный, железисто-гумусово-иллювиальный, карбонатно-иллювиальный), педотурбационные (самоумульчирование, растрескивание, криотурбация,

¹ География почв Беларуси : учеб. пособие / Н. В. Клебанович [и др.]. Минск, 2011.

² Клебанович Н. В. Почвоведение и земельные ресурсы.

вспучивание, пучение, биотурбация, ветровая педотурбация, агротурбация) и деструктивные (эрозия, дефляция) процессы, что отражено в классификации почвенных разновидностей в соответствии с номенклатурным списком почв Беларуси¹.

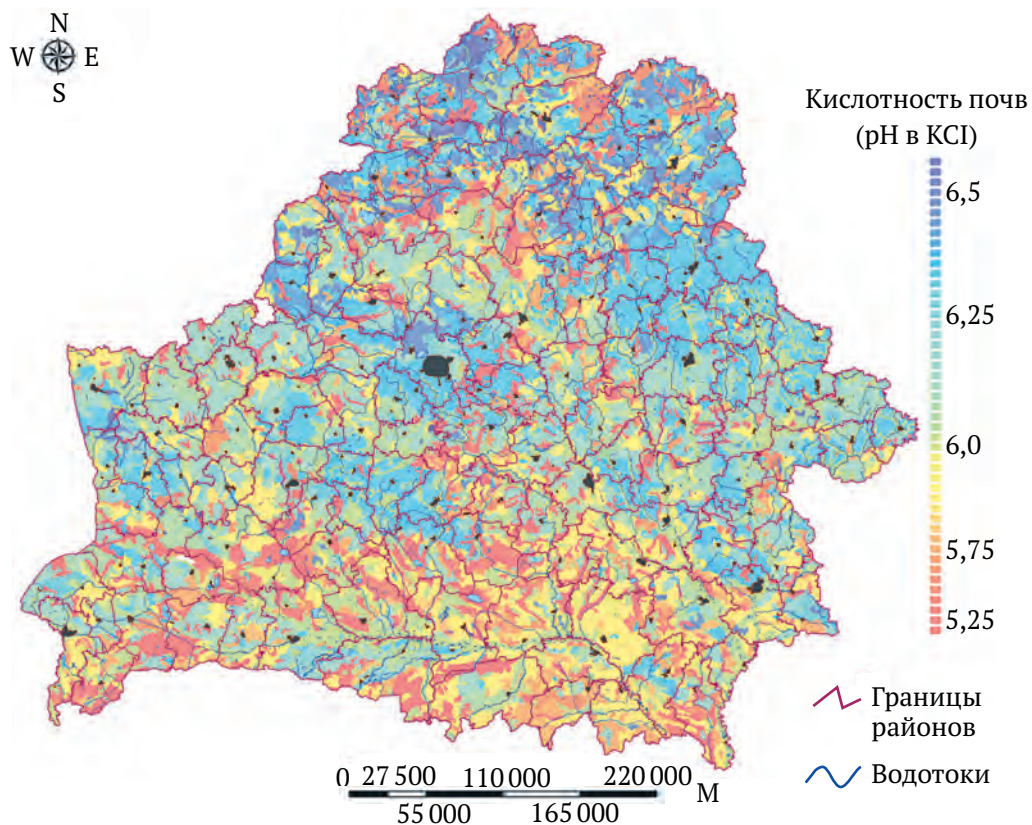


Рис. 1.3. Кислотность почв Беларуси

Основными факторами дифференциации почвенного покрова Беларуси являются биоклиматические, литогенные, топогенные и историко-хронологические². Биоклиматические факторы проявляются через гидротермические условия, литогенные – через разнообразие (пестроту) почвообразующих пород, включая гранулометрический и минералогический составы, топографические (геоморфологические) факторы – через разнообразие форм и элементов рельефа и формирование почвенных рядов. В сочетании с геохими-

¹ Номенклатурный список почв Беларуси (для целей крупномасштабного картографирования) / Н. И. Смеян [и др.] ; Ин-т почвоведения и агрохимии, Проект. ин-т «Белгипрозем». Минск, 2003.

² Полевая диагностика почв Беларуси : практ. пособие / Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь, Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии ; под ред. Г. С. Цыtron. Минск. 2011.

ческими процессами происходит образование геохимических ландшафтов и почвенно-геохимических катен. Историко-хронологические факторы подразумевают изменение условий почвообразования и состояния почвы с течением времени.

1.1. Формализация почв в контексте классификации и номенклатуры

Под *классификацией почв* понимают отнесение их к различным систематическим единицам, а также определение соподчиненности данных единиц. Существуют общие принципы построения научной классификации почв:

- учет факторов почвообразования, природных процессов и свойств почв;
- отражение характеристик и свойств почв, приобретенных в результате хозяйственной деятельности;
- оценка плодородия почв и потенциала для их эффективного использования;
- разработка классификации на основе системы таксономических единиц.

В соответствии с принципами преемственности (историчности), открытости, изменчивости, стабильности и иерархичности в классификации почв осуществляется совмещение удобства группировки (структуры построения) с генетическим принципом выделения групп, что обеспечивает единство всех уровней таксономии независимо от степени антропогенного преобразования.

Номенклатура почв – это названия почв в соответствии с их свойствами и местом в классификации¹. Номенклатура почв включает термины, которые характеризуют количественные признаки (малогумусовые, среднекислые и т. д.), указывают на мощность горизонтов или всего профиля (маломощные, глубокоподзоленные), определяют гранулометрический состав почвообразующих пород (рис. 1.4), а также степень выраженности явления (слабоподзоленные, среднесмытые). Полное название почвы начинается с названия типа, далее указываются подтип, род, вид, разновидность, разряд.

Систематика почв – система соподчиненных таксономических единиц различного ранга, используемых для классификации почв. Основной таксономической единицей современной систематики почв является тип. Затем по таксономическому рангу выделяют подтип, род, вид, разновидность, вариант (разряд) почв.

¹ Номенклатурный список почв Беларуси (для целей крупномасштабного картографирования).

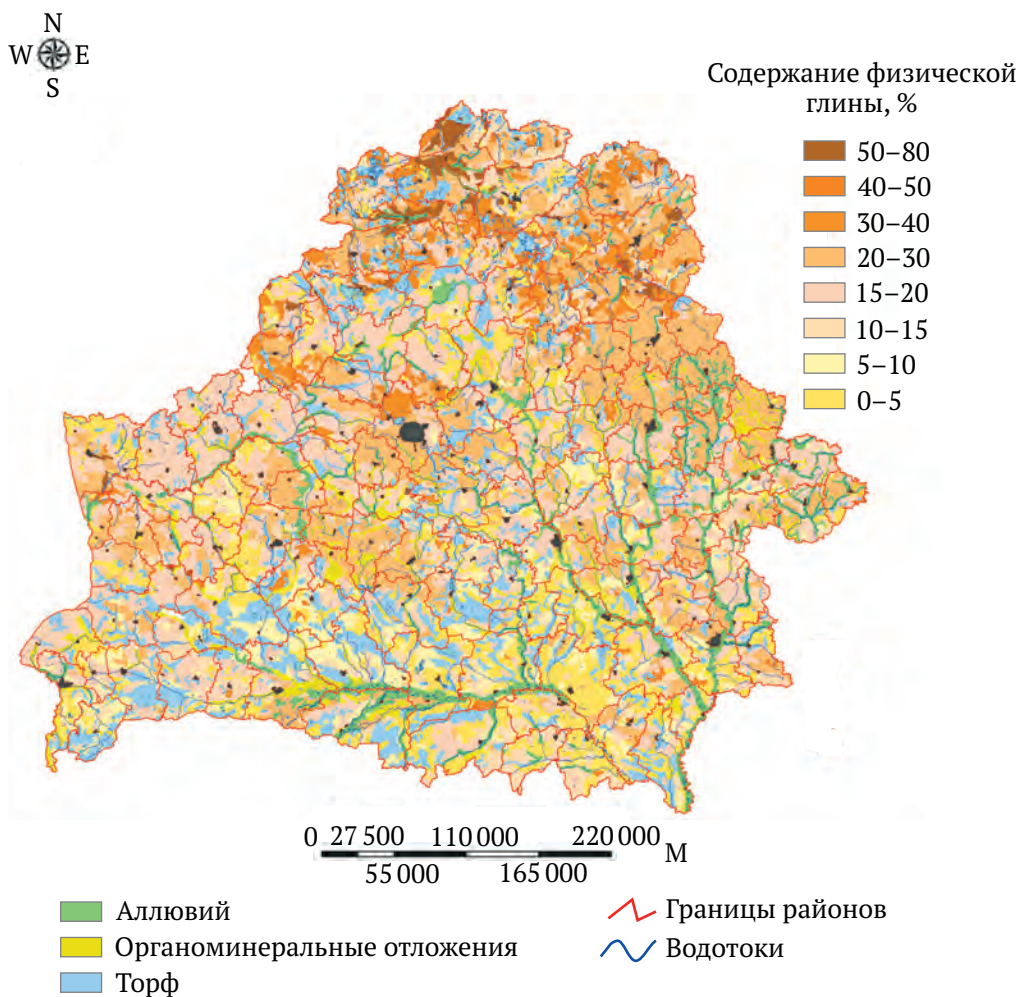


Рис. 1.4. Гранулометрический состав почвообразующих пород Беларуси

В соответствии с ГОСТ 27593-88 (2005) приняты следующие термины таксономических единиц:

- тип почвы – основная классификационная единица, характеризующая общностью свойств, обусловленных режимами и процессами почвообразования, и единой системой основных генетических горизонтов;
- подтип почвы – классификационная единица в пределах типа, определяемая качественными отличиями в системе генетических горизонтов и спецификой проявления налагающихся процессов, характеризующих переход к другому типу;
- род почвы – классификационная единица в пределах подтипа, определяемая особенностями состава почвенного поглощающего комплекса, характером солевого профиля, основными формами новообразований;

- вид почвы – классификационная единица в пределах рода, количественно отличающаяся по степени выраженности почвообразовательных процессов, определяющих тип, подтип и род почв;

- разновидность почвы – классификационная единица, учитывающая разделение почв по гранулометрическому составу всего почвенного профиля;

- разряд почвы – классификационная единица, группирующая почвы по характеру почвообразующих и подстилающих пород.

В географии почв используются таксономические единицы высшего типа, чаще всего выделяют классы и ряды. Под классами почв подразумевают сочетание типов почв зональных и азональных (интразональных) ландшафтов в пределах природной зоны. Ряды выделяют по характеру проявления одного из факторов почвообразования: гидроряд, литоряд, фиторяд, антропогенный ряд и т. д.

Начиная с 1990 г. номенклатурный список почв Беларуси включает 13 типов почв. Приведем номенклатуру основных типов почв Беларуси, а также соответствующих им почвенных единиц легенды Почвенной карты мира (классификация почв согласно Мировой реферативной базе почвенных ресурсов (англ. World Reference Base for Soil Resources, WRB))¹:

- 1) дерново-карбонатные (регосолы, лептосолы);
- 2) бурые лесные (камбисолы);
- 3) (псевдо)подзолистые (альбелювисолы, подзолы);
- 4) дерново-подзолистые (альбелювисолы, подзолювисолы);
- 5) подзолистые заболоченные (альбелювисолы);
- 6) дерново-подзолистые заболоченные (альбелювисолы, подзолювисолы);
- 7) болотно-подзолистые (подзолы);
- 8) дерновые (и дерново-карбонатные) заболоченные (глейсолы);
- 9) торфяно-болотные низинные (гистосолы хемиковые);
- 10) торфяно-болотные верховые (гистосолы фибриковые) и переходные (транзит-гистосолы);
- 11) аллювиальные дерновые и дерновые заболоченные (флювисолы);
- 12) аллювиальные болотные (флювисолы гистиковые);
- 13) антропогенно-преобразованные почвы (антросолы, техносолы).

Развитие подходов к классификации почв Беларуси началось с работ профессора В. Г. Касаткина, где подзолистые почвы определены в качестве зональных, а степень подзолистости зависит от гранулометрического состава пород и условий рельефа. В 1926 г. Я. Н. Афанасьев также отнес почвы повышенных частей рельефа к подзолистым, разделив их на слабо-, средне- и сильноподзолистые. Дальнейшее развитие вопросов классификации связано с работами И. С. Лупиновича, П. П. Рогового, А. Г. Медведева, М. П. Булгакова, Т. А. Романовой, Н. И. Смеяна, Г. С. Цытрон. В 1990 г. Г. С. Цытрон

¹Романова Т. А. Диагностика почв Беларуси и их классификация в системе ФАО – WRB / РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси». Минск, 2004.

разработала первую классификационную схему антропогенно-преобразованных почв Беларуси, выделенных на самом высоком таксономическом уровне (класс) с разделением на типы и подтипы¹.

В компонентном составе почвенного покрова сельскохозяйственных земель республики по типовой принадлежности преобладают дерново-подзолистые (34,2 %) и дерново-подзолистые заболоченные (37,1 %) почвы. Значительно меньшие площади занимают дерновые заболоченные и дерново-карбонатные заболоченные (10,2 %), торфяные (11,3 %), аллювиальные (пойменные) дерновые заболоченные (3,7 %) и антропогенно-преобразованные (3,3 %) почвы. Дерново-карбонатные почвы составляют только 0,1 %.

Антропогенно-преобразованные почвы – это почвы, которые претерпели изменения в процессе хозяйственной деятельности человека, но в той или иной степени сохранили классификационные и генетические признаки исходных почв. Традиционно в Беларуси к антропогенно-преобразованным относят окультуренные и нарушенные почвы. Окультуренные почвы – это почвы, измененные в результате деятельности, направленной на повышение их производительной способности, часто без учета природных особенностей².

Согласно номенклатурному списку почв Беларуси, к типу антропогенно-преобразованных почв относятся рекультивированные, деградированные (дренированные: дегроторфяные и дегродерновые, деградированные эродированные), нарушенные (при добыче ископаемых и в результате других земляных работ), загрязненные, техногенно-заболоченные (искусственно-заболоченные и вторично-заболоченные) почвы. Следует отметить, что деградированные почвы овражно-балочного комплекса характерны для северной и северо-восточной частей Беларуси при хозяйственном использовании эрозионно опасных земель.

Глобализация и связанные с ней глобальные экологические проблемы, такие как изменение климата и загрязнение окружающей среды, подчеркивают необходимость гармонизации и корреляции технических языков, особенно в сфере почвоведения. Почва играет ключевую роль в функционировании экосистем, обеспечивает питание и устойчивое развитие, поэтому ее изучение и классификация имеют важное значение для решения глобальных проблем. Мировая реферативная база почвенных ресурсов – это всеобъемлющая классификационная система, которая играет важную роль в унификации терминологии и подходов к описанию почв. Она позволяет согласовывать национальные системы классификации и создавать единую картину разнообразия почв на глобальном уровне. В табл. 1.2 приводится пример корреляции номенклатурного списка почв Беларуси и системы WRB.

¹ Номенклатурный список почв Беларуси (для целей крупномасштабного картографирования).

² Романова Т. А. Диагностика почв Беларуси и их классификация в системе ФАО – WRB.

Таблица 1.2

**Корреляция номенклатурного списка
почв Беларуси и Мировой реферативной базы
почвенных ресурсов**

Тип почв	Реферативная группа	Kod 1		Kod 3	Kod 4
Дерново-карбонатные	Leptosol (LP)	0-24	LP	1,9 – Clayic 2-4 – Siltic 5-8 – Arenic 10-37 – Histic	2-4, 6-11, 13-15 – Ruptic
Бурые лесные	Cambisol (CM)	25,26	CM		
Дерново-подзолистые	Retisol (RT)	27-61(arenic)	RT		
	Luvisol (LV)	27-61 (siltic, clayic)	LV		
Подзолистые	Podzol (PZ)	62-70	PZ		
Подзолистые заболоченные	Podzol(PZ)	71-81	Gleyic PZ		
Дерново-подзолистые заболоченные	Retisol (RT)	82-98 (arenic)	Hypo-Stagnic RT		
		99-118 (arenic)	Stagnic RT		
		119-139 (siltic, clayic)	Gleyic RT		
	Luvisol (LV)	82-98 (siltic, clayic)	Hypo-Stagnic LV		
		99-118 (siltic, clayic)	Stagnic LV		
		119-139 (siltic, clayic)	Gleyic LV		
Болотно-подзолистые	Podzol (PZ)	140-148	Gleyic, HisticPZ		
Дерновые заболоченные	Gleysol (GL), Umbrisol (UM)	149-245	GL, UM		
Торфяно-болотные низинные	Histosol (HS)	246-265	Hemic HS		
Торфяно-болотные верховые	Histosol (HS)	266-275	Fibric HS		
Аллювиальные дерновые и дерновые заболоченные	Fluvisol (FL)	276-306	Gleyic FL		
Аллювиальные болотные	Fluvisol (FL)	307-370	Histic FL		
Антропогенно-преобразованные	Anthrosol (AT), Regosol (RG), Technosol (TC)	371-494	AT, RG, TC		

Сопоставление выделов предлагаемой классификации с почвенными единицами легенды Почвенной карты мира (ФАО – ЮНЕСКО, 1990) и большими группами Мировой реферативной базы почвенных ресурсов позволяет сделать вывод, что из 30 групп WRB 10 характерны для территории Беларуси¹. Это означает, что на указанной территории встречаются почвы, соответствующие данным группам, с признаками диагностических горизонтов без существенных отклонений от основных признаков, которые определяют принадлежность почвы к той или иной группе WRB.

Благодаря вниманию почвоведов белорусской школы к водному режиму почв и ее биогеоценотической ориентации, несмотря на использование традиционной терминологии, почвенные карты Беларуси и учет земельных ресурсов республики отличаются высокой степенью природной достоверности.

Диагностика почв, представляющая собой процесс определения их свойств и характеристик, опирается на изучение как внешних, так и внутренних признаков. К ключевым параметрам относятся: строение почвенного профиля, морфологические, физико-химические свойства отдельных горизонтов (кислотность, содержание гумуса и питательных элементов и др.), гранулометрический состав, распределение ила в почвенной толще. Белорусская школа почвоведения также традиционно делает акцент на морфологических признаках почв, уделяя особое внимание подгумусовым горизонтам. Это обусловлено тем, что гумусовые горизонты часто подвержены антропогенному влиянию и их признаки могут быть изменены.

В 2004 г. Т. А. Романовой был предложен гидрологический подход к диагностике почв Беларуси и их классификации в системе WRB². На верхнем таксономическом уровне (класс, тип, подтип) почвы дифференцированы по характеру увлажненности и особенностям водного режима. В частности, основанием для выделения подтипов служит число дней с содержанием влаги более наименьшей влагоемкости в слое 0–20 см за вегетационный период, которое позволяет дифференцировать почвы по степени гидроморфизма:

- на автоморфные (0–10 дней);
- автоморфные оглеенные на контакте и оглеенные внизу (10–20 дней);
- слабogleеватые (20–50 дней);
- глееватые (50–100 дней);
- глеевые (100–170 дней);
- гидроморфные (более 170 дней): иловато-глеевые; торфяные (увлажненность коррелирует с мощностью торфяного пласта: 0–30 см, 30–50, более 50 см).

¹Романова Т. А. Диагностика почв Беларуси и их классификация в системе ФАО – WRB.

²Там же.

На уровне рода и подрода учитываются гранулометрический состав, строение и свойства почвообразующих пород и химический состав грунтовых вод. Гранулометрический состав влияет на водопроницаемость, плодородие и другие свойства почв. Состав грунтовых вод определяет степень их минерализации и влияет на химические свойства почвы. Различия почв на нижнем таксономическом уровне (вид, разновидность, вариант) обусловлены хозяйственным воздействием человека.

Использование гидрологического подхода в диагностике и классификации почв Беларуси позволяет учесть специфику водного режима и биогеоценотических особенностей данной территории. Это обеспечивает высокую степень природной достоверности почвенных карт и учета земельных ресурсов, что является основой для устойчивого использования земель и сохранения биоразнообразия.

В составе сельскохозяйственных земель республики автоморфные почвы занимают 34,6 %, полугидроморфные – 51,3, гидроморфные – 14,1 %. Полугидроморфные почвы, в свою очередь, подразделяются на слабоглееватые (временно избыточно увлажненные) (22,6 %), глееватые (21,6 %) и глеевые (7,1 %). Удельный вес переувлажненных почв (полугидроморфных и гидроморфных) в составе сельскохозяйственных земель составляет 65,4 %. В 57 районах республики полугидроморфные почвы занимают более 50 % площади сельскохозяйственных земель. Гидроморфные почвы в отдельных районах Брестской, Гомельской и Минской областей занимают более 25 % площади сельскохозяйственных земель¹.

По гранулометрическому составу почвы республики подразделяются на глинистые, суглинистые (тяжело-, средне- и легкосуглинистые), супесчаные (связно- и рыхлосупесчаные) и песчаные (связно- и рыхлопесчаные). В составе сельскохозяйственных земель преобладают супесчаные почвы, которые занимают 45,2 % общей площади (из них связносупесчаные – 19,0 %, рыхлосупесчаные – 26,2 %), песчаные – 21,5, суглинистые и глинистые – 20,2 % (из них суглинистые – 20,1 %, глинистые – только 0,1 %). Среди суглинистых почв преобладают легкосуглинистые разновидности, составляющие 18,9 %².

В географической науке районирование рассматривается как способ деления территории на участки согласно заданным критериям. Почвенно-географическое районирование – это специфическое географическое районирование, сосредоточенное на одном элементе природного комплекса – почвенном покрове. Природные и антропогенные факторы выступают детерминантами, определяющими закономерности распределения почвенного покрова Беларуси. Влияние различных факторов почвообразования

¹ Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.] ; под общ. ред. В. В. Лапы, А. Ф. Черныша ; Ин-т почвоведения и агрохимии.

² География почв Беларуси.

приводит к формированию почвенных типов, а их изменения в пространстве и времени обуславливают территориальную дифференциацию почвенного покрова. Ключевыми факторами, обеспечивающими дифференциацию, являются ее геоморфологическая, литологическая, антропогенная (техногенная) и биологическая составляющие.

Основой почвенно-географического районирования служат данные крупномасштабных почвенных обследований: областные и районные почвенные карты, карты почвообразующих пород, карты эродированных и заболоченных земель, карты параметров рельефа местности, картосхемы по характеристикам климата территории Беларуси. Особенности факторов почвообразования и дифференциации почвенного покрова, а также состав и свойства почв и характер их использования позволили выделить три почвенно-географические провинции Беларуси – Северную, Центральную и Южную, 7 округов и 20 почвенно-географических районов¹.

В соответствии с основным целевым назначением в составе земельного фонда, согласно Кодексу Республики Беларусь о земле, выделяют следующие семь категорий земель: 1) земли сельскохозяйственного назначения; 2) земли населенных пунктов (городов, поселков городского типа и сельских населенных пунктов), садоводческих товариществ и дачного строительства; 3) земли промышленности, транспорта, связи, энергетики, обороны и иного назначения; 4) земли природоохранного, оздоровительного, рекреационного и историко-культурного назначения; 5) земли лесного фонда; 6) земли водного фонда; 7) земли запаса².

К землям сельскохозяйственного назначения относятся все земли, предоставленные для нужд сельского хозяйства или предназначенные для данных целей. Доля земель сельскохозяйственного назначения постоянно снижается, что актуализирует значение земель данной категории и требует разработки таких документов территориального планирования, как схемы землеустройства административных районов³.

¹Технологическая документация на формирование почвозащитных систем земледелия в разных почвенно-эрозионных зонах Беларуси с применением ГИС-технологий / РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НПЦ по земледелию НАН Беларуси. Минск, 2010.

²Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. URL: <http://gki.gov.by/ru/> (дата обращения: 29.04.2024) ; Кодекс Республики Беларусь о земле : 23 июля 2008 г. № 425-3 : принят Палатой представителей 17 июня 2008 г. : одобр. Советом Респ. 28 июня 2008 г. : с изм. и доп. от 6 ноября 2008 г. № 447-3, 29 декабря 2009 г. № 73-3, 28 декабря 2009 г. // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2008. № 187. 2/1522.

³Инструкция о порядке разработки схем землеустройства районов : утв. Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь, 29.05.2008, № 43 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2006. № 8. 19288 ; Разработка схемы землеустройства Пинского административного района. 2-й этап (апробирование и утверждение руководства (методических рекомендаций) по эколого-экономической оптимизации сельскохозяйственных земель) : отчет о НИР (заключ.) / РУП БелНИЦзем. Минск, 2008. № ГР 200773269.

В настоящее время в аграрном секторе страны применяется почвенно-экологическое районирование Беларуси, используемое для целей определения специализации и структуры посевных площадей (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Уровни почвенно-экологического районирования в планировании сельскохозяйственного землепользования

Основными критериями при проведении почвенно-экологического районирования являются генетический тип почв и их гранулометрический состав, степень увлажнения, агротехнологическое состояние земель, распространение и интенсивность эрозионных процессов. По данным критериям выделяют три почвенно-экологические провинции с дифференцированной характеристикой факторов землепользования (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Характеристика почвенно-экологических провинций Беларуси

Природно-экологические условия	Провинция			В целом по республике
	Северная	Центральная	Южная	
Агроклиматические условия				
Сумма температур более 10 °С	2230	2270	2430	2320
Сумма осадков за период с температурой более 10 °С, мм	360	350	330	350
ГТК	1,7	1,5	1,3	1,5

Окончание табл. 1.3

Природно-экологические условия	Провинция			В целом по республике
	Северная	Центральная	Южная	
Морфометрия рельефа				
Склоны крутизной менее 3°, %	15,3	49,0	95,1	65,4
Средняя длина склонов, м	364	398	383	390
Склоны крутизной 3–5°, %	59,4	27,7	3,3	27,6
Средняя длина склонов, м	291	346	308	322
Склоны крутизной более 5°, %	25,3	23,3	1,6	7,0
Средняя длина склонов, м	257	320	236	271
Почвы, % от общей площади сельскохозяйственных земель				
Преобладающие почвообразующие породы	Моренные, озерно-ледниковые	Лессовидные, водно-ледниковые	Древнеаллювиальные, органо-генные	Все приведенные породы
Глинистые и суглинистые	54,2	30,1	2,7	25,9
Супесчаные	37,2	55,1	39,5	48,4
Песчаные	6,9	11,3	47,4	20,3
Торфяные	1,7	3,5	10,4	5,4
Эродированные	11,2	7,7	4,5	9,4
Мелиоративное состояние земель				
Сельскохозяйственная освоенность в эрозионно опасных районах, % от общей площади	40,0	56,5	33,9	43,5
Распаханность территории в эрозионно опасных районах, % от общей площади	21,8	39,4	17,7	26,3
Заболоченность, %	55,1	33,5	49,3	42,4
Завалуненность, %	49,1	38,8	7,1	26,6
Контурность, га	5,4	16,4	15,9	11,6

Примечание. Составлено на основе: Технологическая документация на формирование почвозащитных систем земледелия в разных почвенно-эрозионных зонах Беларуси с применением ГИС-технологий / РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НПЦ по земледелию НАН Беларуси. Минск, 2010.

Для получения полной информации об антропогенной эволюции почв и почвенного покрова территории республики вследствие агротехнического, гидромелиоративного и техногенного воздействия проводится повторное крупномасштабное почвенное картографирование.

Почвенное картографирование осуществляется в масштабе 1 : 10 000 по всем категориям землевладений и землепользований с периодически-

стью 15–18 лет, а в районах наиболее активного антропогенного влияния на почвы – с периодичностью 9–15 лет. При этом в первую очередь обследуются земли с наиболее динамично изменяющимся почвенным покровом.

Для наблюдения за изменением показателей свойств почв и структуры почвенного покрова, а также продуктивности почвенных разновидностей или их комбинаций проводится детальное картографирование почв ключевых участков. Детальное картографирование ключевых участков выполняется в масштабе 1 : 1000, 1 : 2000 (в зависимости от сложности почвенного покрова и степени его трансформации) в соответствии с существующей методикой на низком таксономическом уровне с выделением родов, видов и разновидностей почв. На основании результатов лабораторных анализов уточняется и оформляется составленная в полевой период почвенная карта. Вычисляются площади почвенных разновидностей (с точностью до 0,01 га), выполняются картометрические измерения для установления таких основных показателей структуры почвенного покрова, как сложность, контрастность, неоднородность.

Основными источниками почвенных данных являются:

- сведения геопортала земельно-информационной системы;
- архивные почвенные карты (1 : 10 000 – 1 : 500 000);
- данные почвенных обследований сельскохозяйственных организаций (1 : 25 000) и административных районов (1 : 100 000);
- почвенные очерки;
- кадастровые карты землепользования и схемы землеустройства административных районов¹;
- земельно-кадастровая документация, в том числе результаты кадастровой оценки сельскохозяйственных земель²;
- данные регулярного мониторинга плодородия в агрохимических центрах.

В Беларуси выполняется разработка многоуровневой информационной системы описания почвенного покрова. Первый уровень обобщения охватывает всю республику и включает также специальную базу данных эталонных почвенных профилей. Эта база предоставляет наиболее полные сведения о конкретных разновидностях почвы: положение ее в различных

¹Провести исследования и подготовить методические рекомендации и формы документов для разработки схем землеустройства районов : отчет о НИР (заключ.) / РУП БелНИЦзем. Минск, 2008. № ГР 20083431.

²Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика / Г. М. Мороз [и др.] ; под ред. Г. М. Мороза, В. В. Лапы. Минск, 2017 ; Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель. Технология работ : ТКП 302-2018 (33250). Введ. 01.09.2018. Минск, 2018.

классификациях, морфологическое строение, детальную характеристику каждого почвенного горизонта¹, которая включает как морфологические и морфометрические характеристики, так и большой набор аналитической информации (данные гранулометрического, минералогического и валового химического составов, физических, физико-химических и агрохимических свойств), представленные в 107 полях.

Геоинформационный учет состава почвенного покрова, использующийся в цифровом почвенном картографировании², предусматривает соответствующие кодировки диагностических признаков, которые указываются для каждой почвы при наличии комбинации (табл. 1.4).

Таблица 1.4

**Критерии геоинформационного учета
состава почвенного покрова
сельскохозяйственных земель**

Поле	Описание	Примечание	Кодировка диагностических признаков
Почва	String_15	Одна почва или комбинация почв	–
Описание	String_200	Название почвы	–
Kod1_1	Integer_4	Первый знак кода первой (доминирующей по площади) почвы (классификационная принадлежность)	Почвы_Kod1(2,3)_1.doc
Kod1_2	Integer_4	Второй знак кода первой (доминирующей по площади) почвы (генезис)	Почвы_Kod1(2,3)_2.xls
Kod1_3	Integer_4	Третий знак кода первой (доминирующей по площади) почвы (гранулометрический состав)	Почвы_Kod1(2,3)_3.xls
Kod1_4	Integer_4	Четвертый знак кода первой (доминирующей по площади) почвы (подстиление)	Почвы_Kod1(2,3)_4.xls
part1	SmallInteger_2	Доля первой (доминирующей по площади) почвы, %	0–100

¹ Полевая диагностика почв Беларуси ...

² Земельно-информационная система Республики Беларусь. Порядок создания и ведения (эксплуатации, обновления) : ТКП 610-2017 (33520). Введ. с 01.09.2017. Минск, 2017.

Поле	Описание	Примечание	Кодировка диагностических признаков
Kod2_1	Integer_4	Первый знак кода второй почвы (классификационная принадлежность)	Почвы_Kod1(2,3)_1.doc
Kod_eroz	SmallInteger_2	Код условного знака эрозии	Почвы_Kod_eroz.xls
Kod_uvlj	SmallInteger_2	Код условного знака увлажнения	Почвы_Kod_uvlaj.xls

Преимущества ГИС-технологий заключаются в возможности совместного анализа множества параметров (рельеф, генезис и характер почвообразующих пород, степень увлажнения, гранулометрический состав, морфометрические параметры, корреляционные особенности классификаций и т. д.) и их взаимосвязей¹. Это необходимо при полной характеристике как почвенного покрова в целом, так и отдельных компонентов ландшафта в частности. Визуализация вышеперечисленных параметров через цифровые карты на основе баз геоданных выполняется оперативно, с соблюдением математической точности слоев и возможностью любых пространственных ГИС-операций, таких как наложение, вырезание, переклассификация, суммирование, слияние и др.²

1.2. Геосистемный подход к структуре почвенного покрова. Картометрический анализ

Структура почвенного покрова – всеобщая форма пространственного размещения почв, которая выражается в определенным образом чередующихся и в разной степени генетически связанных ареалах различных классификационных почвенных групп, создающих определенный рисунок пространственного размещения³. Структура почвенного покрова позволяет определить закономерности пространственного распределения почв в связи с особенностями факторов дифференциации почвенного покрова⁴. Элементарный почвенный ареал – участок территории, занятый одной почвой, которая принадлежит к классификационной единице самого низкого ранга и не может быть разделена на меньшие части. Сочетания ЭПА образуют почвенные комбина-

¹ Клебанович Н. В., Сазонов А. А., Червань А. Н. Почвенное ГИС-картографирование : практикум для студентов фак. географии и геоинформатики. Минск, 2019.

² Курлович Д. М. ГИС-анализ и моделирование : учеб.-метод. пособие. Минск, 2018.

³ Фридланд В. М. Структуры почвенного покрова мира. М., 1984.

⁴ Романова Т. А., Червань А. Н., Андреева В. Л. Теоретические основы и практическая значимость исследований структуры почвенного покрова // Почвоведение. 2011. № 3. С. 300–310.

ции, которые определяют СПП. По уровню организации выделяют микро-, мезо- и макроструктуры почвенного покрова.

В практическом отношении анализ СПП необходим для системной типизации почвенного покрова и выделения участков землепользования, что важно в сложных геоморфологических и литологических условиях почвообразования (рис. 1.6).

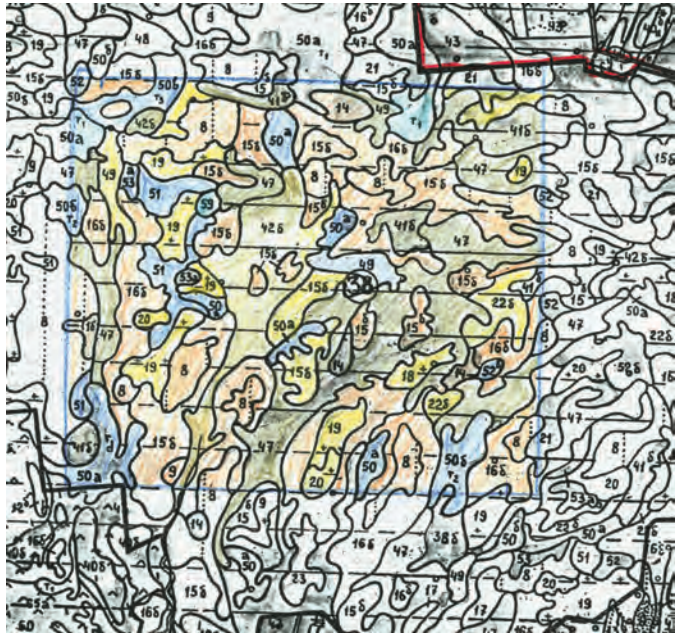


Рис. 1.6. Фрагмент традиционной (аналоговой) почвенной карты

Особенности СПП определяются геоморфологическими и биоклиматическими факторами. В пространственном отношении СПП характеризуется контрастностью, расчлененностью (сложностью) и неоднородностью почвенного покрова. Уровень учета СПП предопределяет уровень использования почвенно-земельных ресурсов в соответствии с приведенным в табл. 1.5 масштабом.

Таблица 1.5

**Практическое использование информации
о структуре почвенного покрова**

Уровень геосистемы	Масштаб исследования	Уровень использования почвенно-земельных ресурсов
Мегакомбинация	1 : 1 000 000 и мельче	Направление использования (сельскохозяйственное, лесохозяйственное, природоохранное и пр.)
Макрокомбинация	1 : 100 000 – 1 : 1 000 000	Тип использования (пахотное, луговое, лесное и пр.)

Уровень геосистемы	Масштаб исследования	Уровень использования почвенно-земельных ресурсов
Мезокомбинация (тип земель)	1 : 10 000 – 1 : 100 000	Вид использования с определением необходимости осуществления мелиоративных, противоэрозионных и других мероприятий
Микрокомбинация почвенного покрова	Крупнее 1 : 10 000	Интенсивность вида использования

Операциональной единицей СПП является почвенная комбинация – закономерно организованная и повторяющаяся в пространстве система генетически связанных между собой почвенных ареалов, образующих определенный рисунок почвенного покрова, который предопределяется совокупностью геологических, микроклиматических, литологических условий местности¹. Все почвенные комбинации объединены в шесть групп: комплексы, пятнистости, сочетания, вариации, мозаики и ташеты, каждая из которых имеет свои специфические черты. Для комплексов, пятнистостей, сочетаний и вариаций характерны отчетливая генетическая связь компонентов, регулярность их повторения, наличие симметрии в строении. Комбинации могут быть простыми (один элементарный почвенный ареал) и сложными (несколько элементарных почвенных ареалов).

Комбинации сочетаний – закономерная смена почв, характерная для мезорельефа. В них систематически чередуются достаточно крупные (несколько гектаров) ареалы контрастно различающихся почв. Вариации – крупноконтурные комбинационные варианты, близкие к сочетаниям, но отличающиеся от них слабой контрастностью компонентов. Пятнистости – мелкоконтурные комбинации, близкие к почвенным комплексам, от которых они отличаются более слабой контрастностью компонентов. Мозаики – контрастные, крупноконтурные комбинации, в которых генетические связи между компонентами слабо выражены или отсутствуют. Формирование мозаик может быть связано с чередованием разных почвообразующих пород или с различной глубиной залегания грунтовых вод. Ташеты – слабоконтрастные варианты комбинаций, в которых генетические связи между компонентами отсутствуют или слабо выражены. В мозаиках и ташетах нет регулярной смены компонентов.

В образовании почвенных комбинаций играют роль несколько факторов: чем их больше, тем более сложная и контрастная СПП. Для упрощенного обозначения почвенных комбинаций часто используют систему индексов почв и групп ЭПА, принятую для обозначения на почвенных картах².

¹Фридланд В. М. Структуры почвенного покрова мира.

²Романова Т. А. Диагностика почв Беларуси и их классификация в системе ФАО – WRB.

Картометрия и морфометрия являются графоаналитическими приемами, предназначенными для измерения количественных параметров по картам СПП. Картометрия занимается измерениями по картам плановых координат объектов, аппликат (высот, глубин, мощностей), длин и расстояний, площадей, объемов, горизонтальных и вертикальных углов и направлений. Морфометрия изучает и разрабатывает способы количественной оценки по картам форм и структур объектов. К основным морфометрическим характеристикам принадлежат показатели формы, плотности, концентрации объектов, глубины и густоты расчленения.

Изучение СПП представляет собой одно из ключевых направлений современной географии почв¹. Почвенный покров любой местности обладает сложной мозаичной структурой, что обусловлено особенностями взаимосвязи отдельных почв, их пространственным расположением и степенью разнообразия.

Развитие современных цифровых технологий, в первую очередь ГИС, предоставляет возможности для быстрого анализа больших массивов данных и автоматических расчетов площадей, длин, периметров, углов наклона, экспозиций склонов и других значений. Основными параметрами для картометрического и морфометрического анализа почвенных карт и карт СПП являются:

- площадь (S) и периметр (P) контура;
- количество контуров (N);
- сумма длин расчленяющих контур границ (Σl);
- средняя площадь контура (S_{cp});
- коэффициент расчлененности (KP);
- коэффициент сложности (KC);
- коэффициент контрастности (KK);
- коэффициент неоднородности (KH);
- коэффициент изрезанности границ ($K_{изр}$).

Взаимодействуя в пространстве, ЭПА формируют почвенные комбинации, создающие СПП (см. прил. 1, 2). Оценка структуры производится по таким главным параметрам, как сложность, контрастность и неоднородность. Размеры ЭПА зависят от рельефа, почвообразующей породы, степени эрозионной опасности и в меньшей степени растительного покрова.

Для количественной оценки формы используют коэффициент расчлененности, который определяется по каждому контуру в комбинации путем деления всей длины границы почвенного ареала (периметра) на длину окружности круга, равного по площади данному участку:

¹ Деградация и охрана почв / под ред. Г. В. Добровольского. М., 2002 ; Козловский Ф. И. Теория и методы изучения почвенного покрова. М., 2003.

$$KP = \frac{P}{3,54\sqrt{S}},$$

где P и S – периметр и площадь контура соответственно, м и м². Иногда P принимают равным l – длине границы почвенного контура. В зависимости от значений коэффициента расчлененности выделяются контуры с нерасчлененными (КР менее 2,0), слаборасчлененными (КР от 2,1 до 4,0), среднерасчлененными (КР от 4,1 до 6,0), сильнорасчлененными границами (КР более 6,1). Коэффициенты расчлененности и изрезанности характеризуют укрупненные и сглаженные контуры:

$$K_{изр} = \frac{4\pi S}{P^2}.$$

Показатель сложности характеризует частоту пространственной смены почвенных контуров и рассчитывается по формуле

$$КС = \frac{KP(S - S_{\max})}{S^2},$$

где КС – коэффициент сложности; КР – сумма коэффициентов расчлененности всех контуров; S – сумма площадей всех контуров, га; $S_{\max}$ – площадь наиболее крупного контура, га.

Для оценки степени сложности используется следующая градация коэффициента сложности:

- менее 1,0 – оптимальный;
- 1,1–2,5 – допустимый;
- 2,5–4,0 – неудовлетворительный;
- более 4,0 – критический.

Контрастность почвенного покрова определяет степень качественной дифференциации почв, т. е. уровень различия свойств почв, образующих почвенный покров. В соответствии с методикой Ю. К. Юодиса используется следующая формула для оценки коэффициента контрастности:

$$KK = \frac{ax + by + cz + \dots}{20},$$

где a, b, c – площади почв в процентном отношении от общей площади территории; x, y, z – степень контрастности соответствующих почв по отношению к наиболее распространенной почве. Коэффициент 20 используется для уменьшения коэффициента контрастности. Фоновая почва в расчетах не учитывается. В табл. 1.6 приведены три основных признака почв, определяющих контрастность ЭПА в СПП. Следует отметить, что поправочные баллы на контрастность используются также для выполнения кадастровой оценки сельскохозяйственных земель¹.

¹Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель. Технология работ : ТКП 302-2018 (33250).

Таблица 1.6

**Шкала контрастности почв
в структуре почвенного покрова**

Генезис почв	A	B	C	D	E
A. Дерново-подзолистые заболоченные	0	1	2	3	4
B. Дерновые заболоченные, дерново-карбонатные	1	0	1	2	3
C. Пойменные дерновые, пойменные, дерново-заболоченные	2	1	0	1	2
D. Торфяно-болотные низинные и пойменные	3	2	1	0	1
E. Торфяно-болотные верховые и переходные	4	3	2	1	0
Увлажнение	A	B	C	D	E
A. Автоморфные	0	1	2	3	4
B. Временно избыточно увлажненные	1	0	1	2	3
C. Глееватые	2	1	0	1	2
D. Глеевые	3	2	1	0	1
E. Болотные	4	3	2	1	0
Гранулометрический состав и мощность торфа	A	B	C	D	E
A. Песчаные	0	1	2	3	4
B. Супесчаные	1	0	1	2	3
C. Суглинистые и глинистые	2	1	0	1	2
D. Торфяные маломощные (до 1 м)	3	2	1	0	1
E. Торфяные мощные (более 1 м)	4	3	2	1	0

Источник: Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель. Технология работ : ТКП 302-2018 (33250). Введ. 01.09.2018. Минск, 2018.

Градация значений для определения контрастности: КК более 9 – СПП очень контрастная; 7,1–9 – контрастная; 5,1–7 – малоконтрастная; 3–5 – неконтрастная; менее 3 – однородная. В табл. 1.7 приведена качественная оценка контрастности почвенного покрова для целей лесоустройства и применения мелиоративных мероприятий. В соответствии с приведенным на рис. 1.7 номенклатурным положением почвенных комбинаций можно автоматизировать расчет коэффициента контрастности любой СПП. Так, если на орографическом уровне комбинации контрастны между собой на два порядка (от 200 до 1100), то на литологическом уровне – всего на несколько единиц, максимум на один порядок (до 15).

Таблица 1.7

Шкала контрастности почв и их лесорастительных свойств

Контрастность почвенных комбинаций	Балл контрастности	Почвенные комбинации	Лесорастительные особенности
Неконтрастные	0	Вариации, пятнистости, ташеты	Почвы принадлежат к одной лесорастительной и одной мелиоративной группам
Слабоконтрастные	1	Пятнистости, вариации, ташеты	Почвы принадлежат к разным лесорастительным группам, но к одной мелиоративной
Среднеконтрастные	2	Сочетания	Почвы принадлежат к разным лесорастительным и мелиоративным группам. Требуется регулирование водного режима
Сильноконтрастные	3	Сложные комплексы, сочетания, мозаики	Почвы принадлежат к разным мелиоративным группам и требуют особого подхода к системе регулирования почвенного плодородия
Очень сильноконтрастные	4	Сочетания-мозаики	Почвы принадлежат к разным группам. Контрастность почвенных режимов после проведения мелиоративных мероприятий сохраняется

Неоднородность почвенного покрова – комбинированный показатель, включающий показатели сложности и контрастности. Коэффициент неоднородности почвенного покрова рассчитывается следующим образом:

$$КН = КС \cdot КК,$$

где КС – коэффициент сложности; КК – коэффициент контрастности.

Согласно результатам оценки коэффициента неоднородности, выделяют пять групп территорий по степени неоднородности почвенного покрова:

- менее 5 – однородная;
- 5–10 – слабонеоднородная;
- 10–20 – среднее неоднородная;
- 20–30 – сильнонеоднородная;
- более 30 – очень сильнонеоднородная.

На рис. 1.8 приведены результаты оценки коэффициента неоднородности почвенного покрова Беларуси.

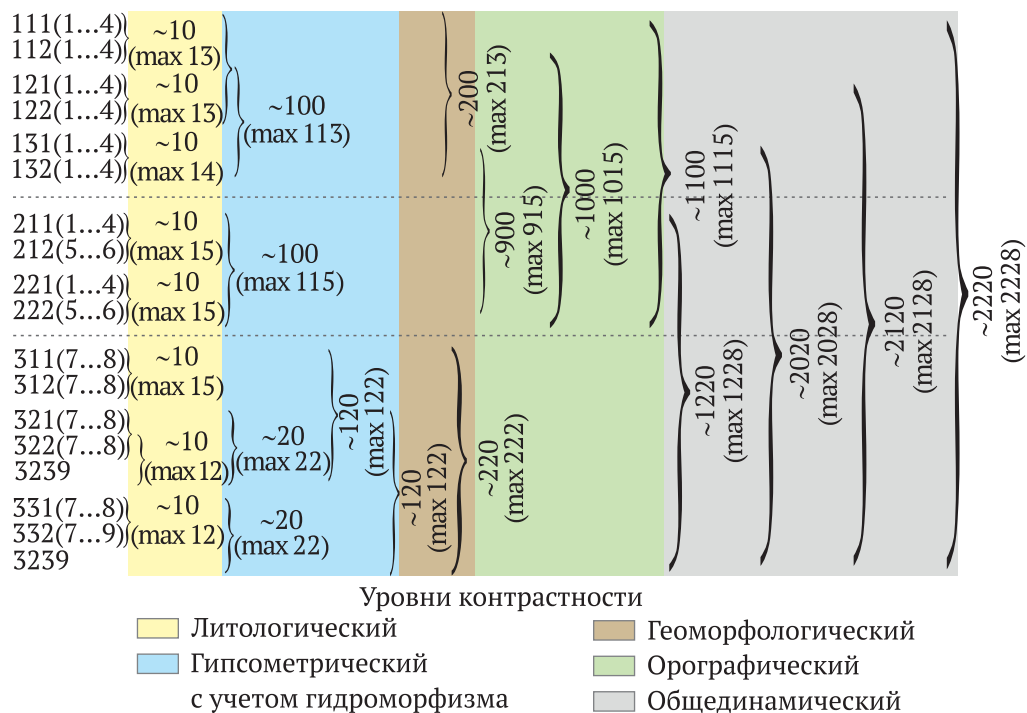


Рис. 1.7. Количественная оценка контрастности структуры почвенного покрова по индексам почвенных комбинаций

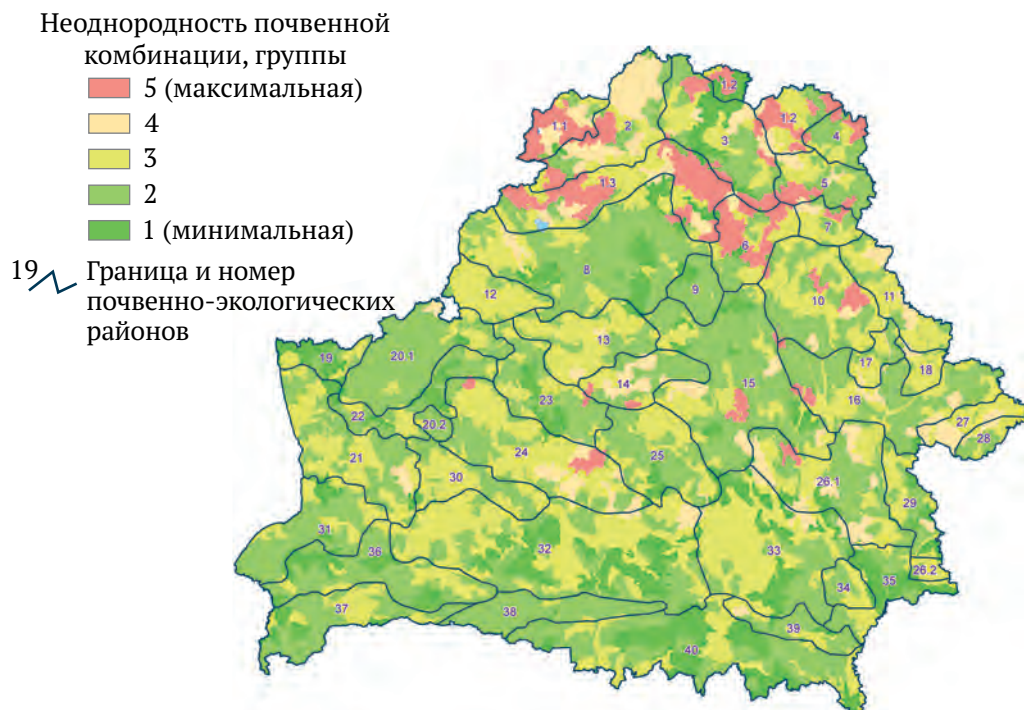


Рис 1.8. Коэффициент неоднородности структуры почвенного покрова Беларуси

В соответствии с показателями неоднородности выделяют следующие группы почвенных комбинаций по направлениям хозяйственного использования почвенных и земельных ресурсов¹:

- пригодные для использования преимущественно в лесном хозяйстве и рекреации ($KH > 15$);
- ограниченно пригодные для пахотного использования, целесообразны в лесном хозяйстве и рекреации ($KH = 12-15$);
- пригодные преимущественно под залужение ($KH = 10-12$);
- пригодные для интенсивного сельскохозяйственного использования, в том числе в качестве пашни ($KH < 10$):
- среднееоднородные ($KH = 7-10$);
- слабееоднородные ($KH = 4-7$);
- условно однородные ($KH < 4$).

Каждая геосистема, идентифицированная по почвенным комбинациям, отображает рельеф, геоморфологические условия, состав и строение почвообразующих пород, характер естественной растительности (реальной или восстановленной по комплексу природных факторов), почвенный покров, для которого определяется показатель (коэффициент неоднородности), средневзвешенный бонитировочный балл почвенного плодородия, потребность в регулировании водного режима, опасность эрозии (дефляции), устойчивость к химическому загрязнению и др.² На рис. 1.9 приведена геосистемная инвентаризация мезокомбинаций СПП Городокского района Витебской области. На рис. 1.10 представлен учет СПП при планировании сельскохозяйственной организации на примере СПК «Межаны» в Браславском районе Витебской области. На представленных административных уровнях хозяйствования возможно получение пространственного представления о системной организации почвенного покрова с целью эффективного использования ПРП.

Разработка и соблюдение нормативных требований к экологически безопасному использованию почвенно-земельных ресурсов является неотъемлемым условием землепользования в Республике Беларусь. Учет и оценка ПРП служат обоснованием выбора направления неистощительного природопользования в целях получения наибольшего эффекта и минимизации экологических рисков землепользования. Геосистемы, идентифицированные по почвенным комбинациям, применяются в качестве территориального инварианта с индивидуальными показателями естественного потенциала природопользования. Геосистемы топологически и типологически объединяют факторы почвообразования, в том числе лимитирующие разные направления использования земель.

¹ Романова Т. А., Червань А. Н., Андреева В. Л. Теоретические основы и практическая значимость исследований структуры почвенного покрова.

² Червань А. Н. Картографическое обеспечение управляемого адаптивно-ландшафтного земледелия в агроландшафтах Беларуси // Агрофизика. 2022. № 1. С. 21–29.

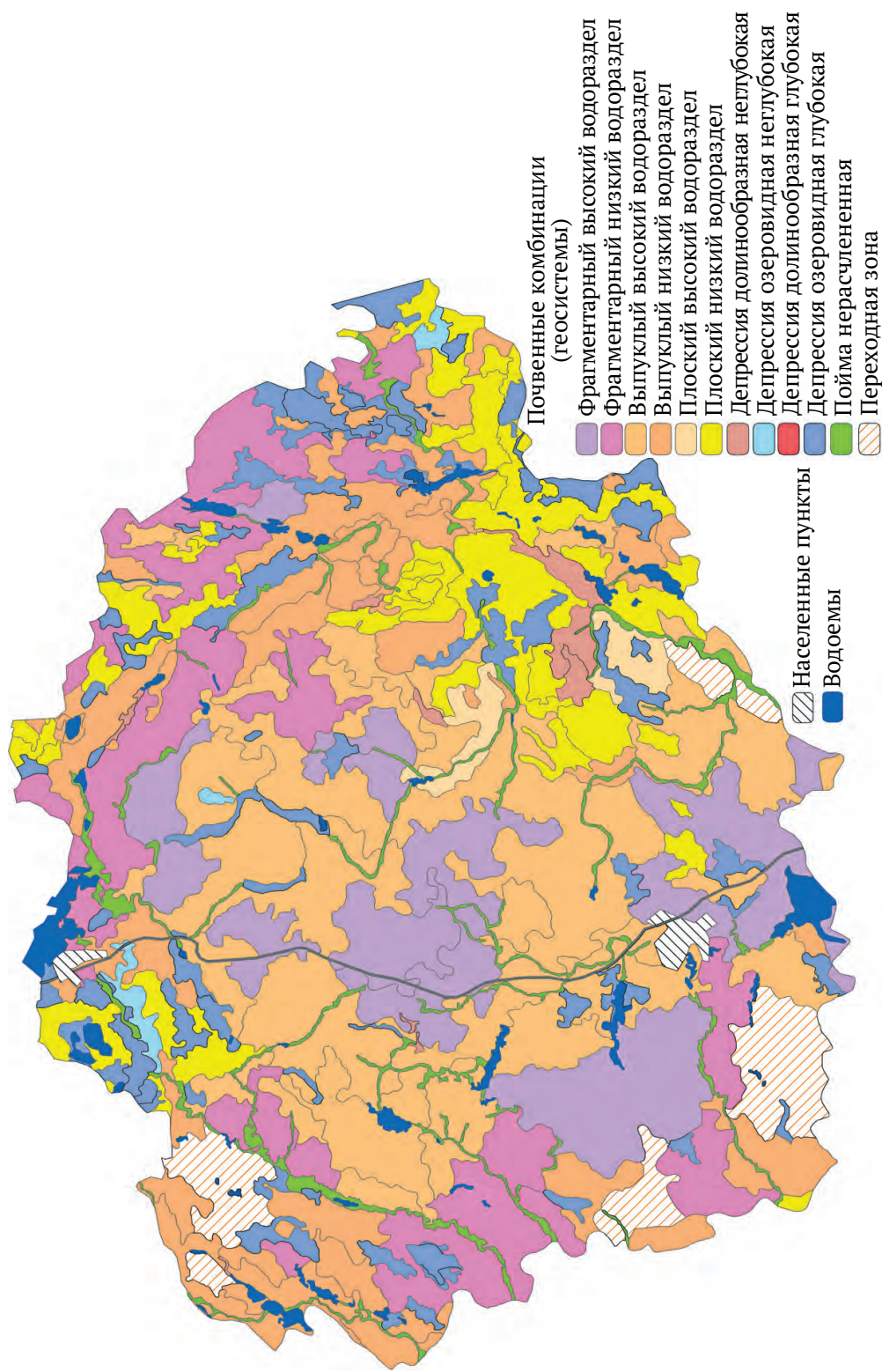


Рис. 1.9. Структура почвенного покрова Городокского района (М 1 : 50 000)

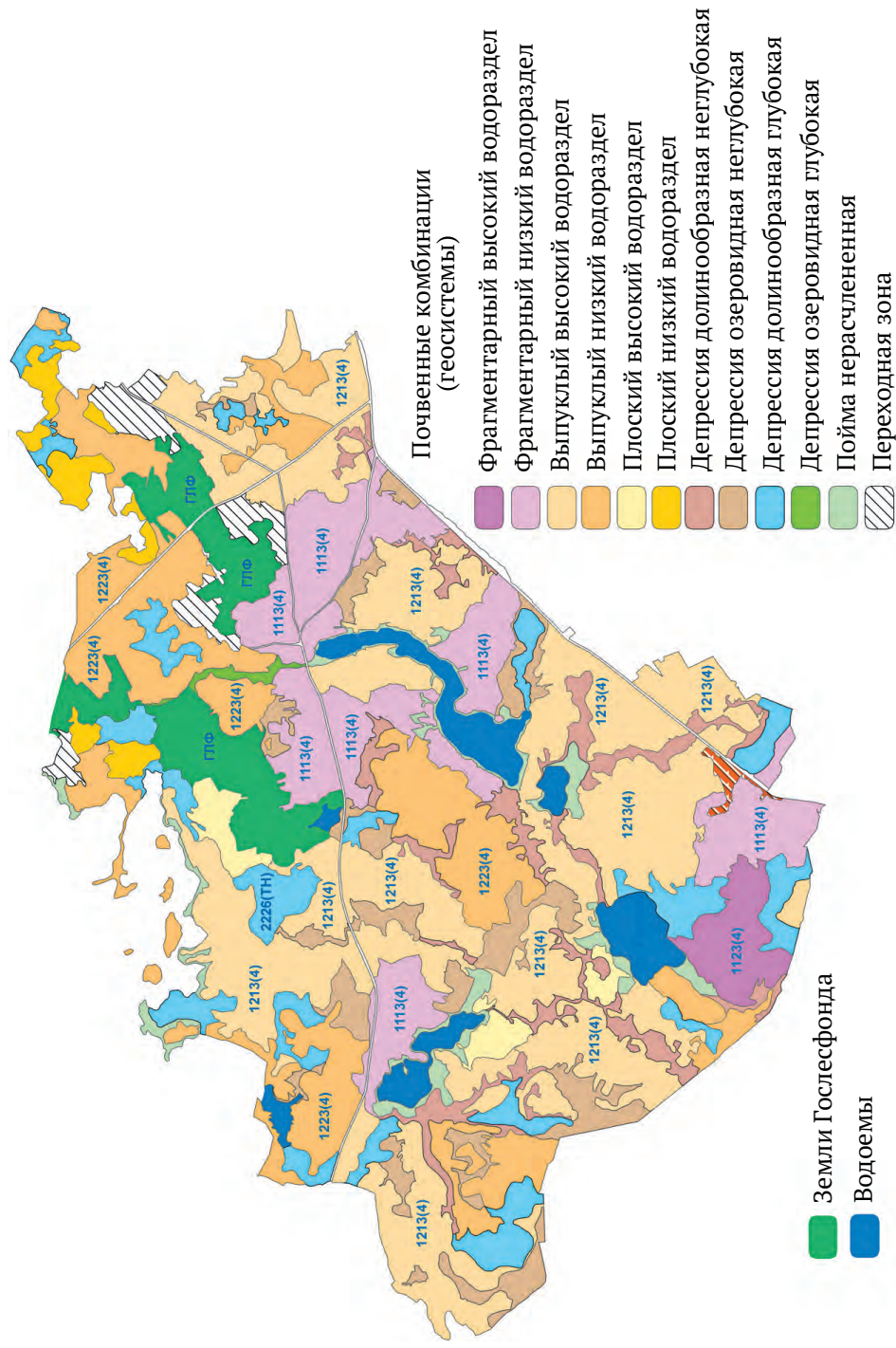


Рис. 1.10. Почвенные комбинации СПК «Межаны» (М 1 : 10 000)

В общем виде использование геосистем как операциональных единиц экологической оценки почвенного покрова республики представлено на рис. 1.11. С одной стороны, разнообразие естественных условий территории вне зависимости от административного подчинения и масштаба рассмотрения объединено тремя категориями по общей динамике природных процессов: эрозионные (водораздельные территории), переувлажненные (депрессии) и пойменные. С другой стороны, уровень и качественный состав антропогенной нагрузки либо ее отсутствие являются неотъемлемой характеристикой ограниченного числа категорий землепользователей (земель). Таким образом, показатели состояния геосистем априори комплексны: они одновременно характеризуют и внешнее воздействие, и естественную предрасположенность к его влиянию.

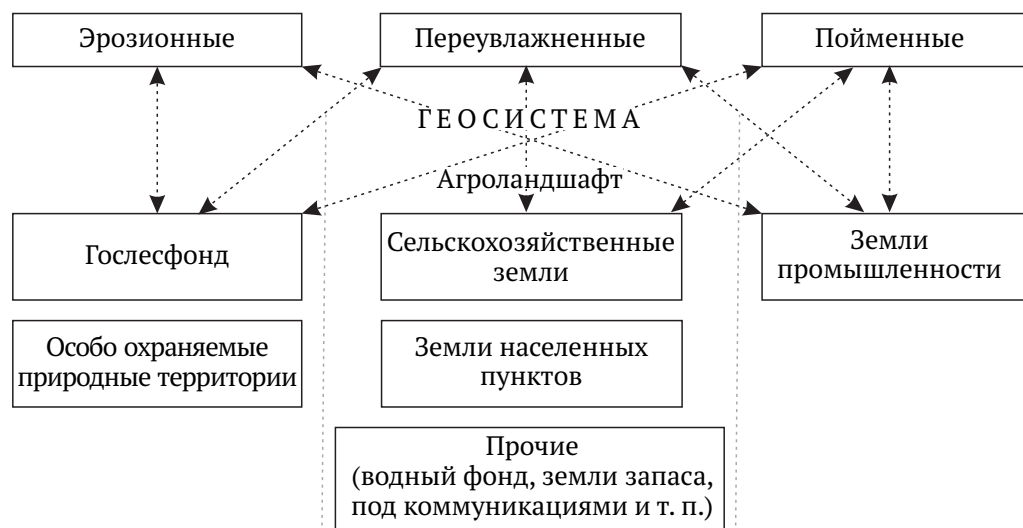


Рис. 1.11. Схема использования геосистем как операциональных единиц природопользования

Принципы геоинформационного описания почвенного покрова в структуре базы данных агроэкологического состояния почвенного покрова республики предусматривают геоинформационные алгоритмы привлечения факторного анализа влияния природных, природно-антропогенных и антропогенных условий на производительную способность почвенно-земельных ресурсов, технологию оценки агроэкологической неустроенности сельскохозяйственных организаций, условно представляющих собой агроландшафты¹.

¹Кирюшин В. И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М., 2011 ; Методика агроэкологической оценки почвенно-ресурсного потенциала эрозионных и заболоченных агроландшафтов северной, центральной и южной провинций Беларуси.

На основе подробных агроландшафтных исследований и изучения природных геосистем почвенно-экологических районов, а также с учетом принципов системного подхода составляются среднемасштабные карты геосистем административных районов¹.

С точки зрения возможного техногенного загрязнения почвы следует отметить, что геохимия исследует поведение различных химических элементов в разных средах, однако существующие данные не позволяют в полной мере оценить миграцию и места выноса и аккумуляции веществ. Границы геосистем дают основание для анализа направления миграции элементов, которое тем не менее обусловлено пространственным распределением потоков вещества и энергии в соответствии с рельефом местности. Рельеф является ключевым фактором почвообразования, поэтому характеристики почвенного покрова и его структуры тесно связаны с этими потоками. Номенклатура геосистем, начиная с определения типа функционирования (водораздельные, депрессивные или пойменные территории), помогает понять, выходят ли потоки вещества за пределы данной природной системы или происходит накопление (концентрация) поступающих веществ, а также определить интенсивность движения поллютантов. Анализ СПП позволяет выявить наименее устойчивые территории в отношении техногенного загрязнения вне зависимости от существующего экологического состояния.

Принципы геоинформационного описания почв и почвенных комбинаций в соответствии с приведенной в табл. 1.8 номенклатурой позволяют с использованием материалов традиционного почвенного картографирования сформировать геоинформационную основу для анализа почвенного покрова на республиканском, региональном или локальном уровне, в том числе с учетом классификационных подходов Мировой реферативной базы почвенных ресурсов.

Геосистемы являются основными носителями качественной и количественной информации о состоянии природных ресурсов в границах каждой почвенной комбинации, что позволяет считать их инвариантами почвенно-земельных ресурсов с качественными различиями устойчивости к процессам деградации земель. В частности, такие переходные зоны, как комбинации комбинаций, выделяемые в тех ситуациях, когда нельзя идентифицировать единое пространство проявления орографических, геоморфологических и литологических условий местности, в случае фактического пахотного или лугового интенсивного использования отнесены к землям со значительным ухудшением культуртехнического состояния. Неоднородность почвенного покрова выступает обратным пропорциональным критерием возможности снижения проявления деградационных процессов, например зарастания древесно-кустарниковой растительностью или постмелиоративной деградации почвенно-земельных ресурсов².

¹ Червань А. Н. Картографическое обеспечение управляемого адаптивно-ландшафтного земледелия в агроландшафтах Беларуси. С. 21–29.

² Червань А. Н., Мельник В. Б., Яцухно В. М. Оценка и внутрирегиональные различия уязвимости почв сельскохозяйственных земель Белорусского Полесья к засухам в условиях потепления климата // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. 2022. Т. 66, № 4. С. 444–453. URL: <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-4-444-453> (дата обращения: 17.03.2024).

Таблица 1.8

**Номенклатура и иерархическая группировка
почвенных комбинаций**

Критерии	Почвенные комбинации (типы земель)								
Общая динамика природных процессов	Внепойменные					Пойменные		4. Первые надпойменные террасы	
Орографические	1. Водоразделы			2. Депрессии		3. Поймы			
Геоморфологические	1. Фрагментарные	2. Выпуклые	3. Плоские	1. Долинообразные	2. Озоровидные	(0.) Нерасчлененные	(1.) Расчлененные		
							1. Прирусловая	2. Центральная	3. Притеррасная
Гипсометрические	1. Высокие 2. Низкие			1. Неглубокие 2. Глубокие		1. Высокого уровня 2. Среднего уровня 3. Низкого уровня			
Литологические (почвообразующие породы)	1. Рыхлые 2. Двучленные без водоупора 3. Двучленные с водоупором 4. Суглинистые 5. Глинистые 6. Торф					7. Рыхлый аллювий 8. Связный аллювий 9. Пойменный торф			

Кроме того, неоднородность СПП служит показателем педо- и биоразнообразия (рис. 1.12), о чем свидетельствуют исследования, проведенные в Березинском биосферном заповеднике¹. Агрегированные в ГИС значения коэффициента неоднородности СПП на основе геосистемного подхода позволили сформировать представления о естественном разнообразии экосистем в границах наименее подверженной антропогенному влиянию территории Беларуси.

В сельскохозяйственном секторе экономики на основе использования геосистемного подхода достигается согласованность существующих подходов к оценке состояния почвенно-земельных ресурсов и экологическому нормированию нагрузок на почвенный покров в разных сценариях землепользования². В табл. 1.9 приведено описание кодов групп ЭПА для ГИС-анализа поч-

¹ Chervan A. N., Kindeev A. L., Sazonov A. A. Soil Cover Patterns and Pedo- and Biodiversity of the Berezinsky Biospheric Reserve. P. 1348–1359.

² Кирюшин В. И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов ; Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Предотвращение деградации и восстановление деградированных мелиорированных сельскохозяйственных земель. Общие положения : ТКП 17.03-04-2014 (02120).

венных комбинаций. Состав почвенных комбинаций, включающий группы ЭПА, позволяет сформировать представление о продуктивной способности всей геосистемы по отношению к определенной сельскохозяйственной культуре на основании бонитета и культуртехнического состояния земель.

Учет неоднородности СПП позволяет создать пространственную основу потенциального землепользования в агроландшафтах в соответствии с закономерно организованными почвенными комбинациями и определить первоочередные мелиоративные приемы эффективного ведения сельскохозяйственной деятельности: дифференцированное внесение удобрений, регулирование водного режима и др.

В Беларуси в условиях последовательных туров почвенных обследований с составлением крупномасштабных почвенных карт территории каждого административного района и сельскохозяйственной организации действует методика идентификации почвенных комбинаций по комплексу естественных условий почвообразования, которые могут выступать агроэкологическими типами земель, а с точки зрения автоматизированной обработки в базе данных – в качестве операциональных единиц. Весь комплекс расчетных операций проводится в топологической ГИС-среде. Грид-представление информации слоев данных дает возможность использовать функции картографической алгебры, а именно сложение и произведение ячеек растровых изображений. Моделирование и расчеты выполняются при помощи геоинформационного инструментария.

Для осуществления пространственного анализа каждой почвенной комбинации присвоен индекс – кодификатор на основе критериев выделения почвенных комбинаций. Так, индекс «1.2.2.3» декодируется как «водораздел выпуклый, низкий на двучленных почвообразующих породах с водупором», характеризуемый формулой почвенной комбинации $ДП^{10} + ДПБ_1^{65} + ДПБ_2^{15} + ТН^{10}$, т. е. в структуре почвенного покрова 10 % занимают дерново-подзолистые, 65 – дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные, 15 – дерново-подзолистые глееватые и 10 % – торфяно-болотные низинного типа почвы. Это означает, что данный участок представляет собой невысокое повышение с пологими склонами, сложенное моренно-зандровыми отложениями, средне расчлененное неглубокими ложбинами стока.

Генетически обусловленная номенклатура почвенных комбинаций с количественной оценкой качественных признаков и картометрических показателей СПП обеспечивает геосистемную инвентаризацию типов земель – первичных единиц кадастрового учета и оценки¹. В частности, в табл. 1.10 приведены ориентировочные расчеты продуктивной способности групп ЭПА для оценки почвенно-ресурсного потенциала СПП сельскохозяйственных земель.

¹ Оценка потенциала почвенно-земельных ресурсов сельскохозяйственных организаций Беларуси с применением ГИС и использование ее результатов при оптимизации землепользования / А. Ф. Черныш [и др.] // Вести Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. № 3. 2011. С. 10–20.

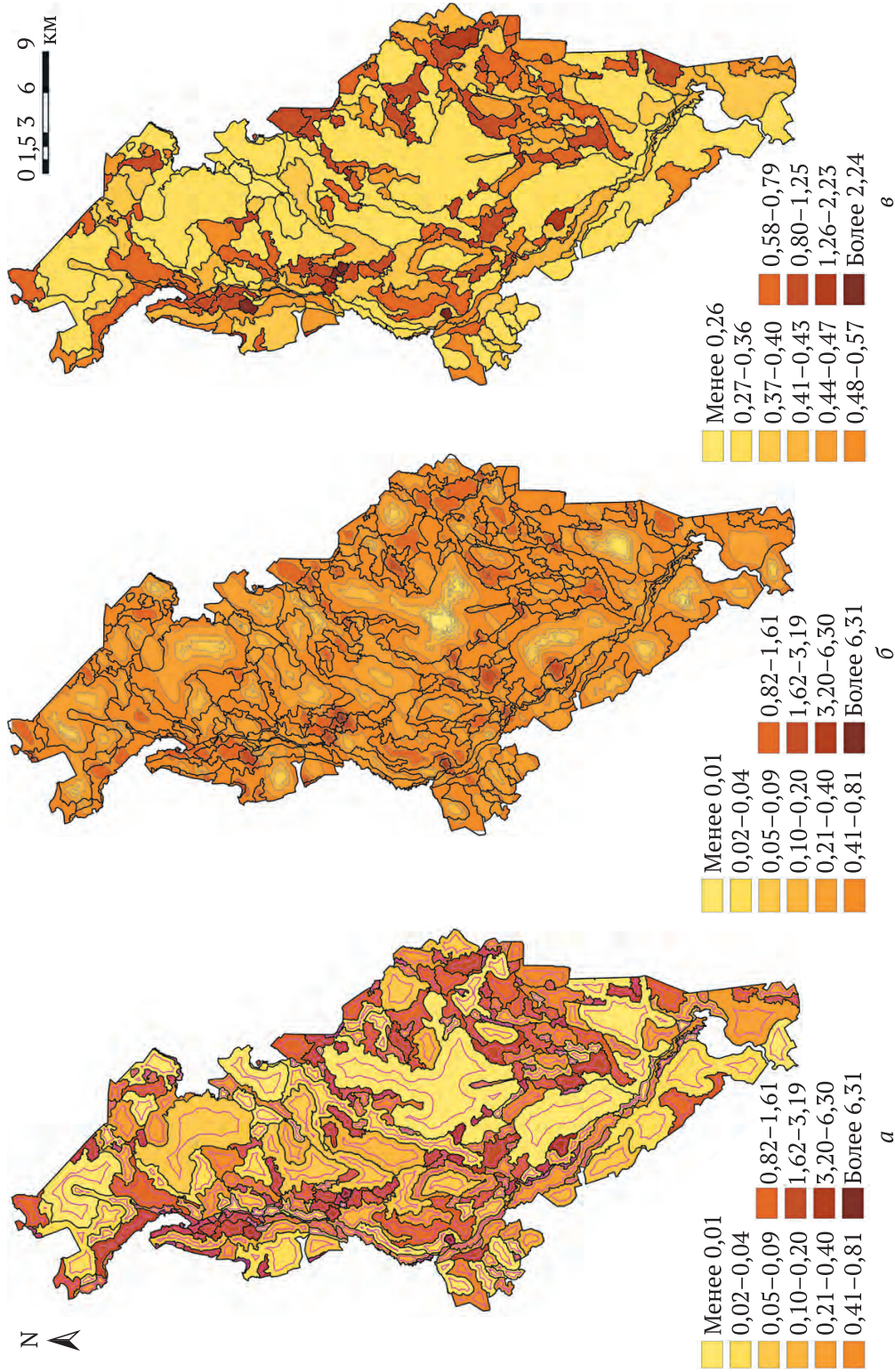


Рис. 1.12. Коэффициент неоднородности структуры почвенного покрова Березинского биосферного заповедника:
а – рассчитанный; *б* – интерполированный; *в* – агрегированный

Таблица 1.9

Учет структуры почвенного покрова в ГИС

Атрибут	Формат	Семантика	Кодировка диагностических признаков
Индекс_ПК	String_20	Индекс геосистемы (например, 3213) или переходной зоны (например, 3213+2126тн)	Геосистемы_индекс.xls
Тип_ПК	SmallInteger_2	Тип почвенной комбинации	Геосистемы_тип.xls
ДП	SmallInteger_2	Доля дерново-подзолистых автоморфных почв	0–100
ДПБ1	SmallInteger_2	Доля дерново-подзолистых временно избыточно увлажненных почв	0–100
ДПБ2	SmallInteger_2	Доля дерново-подзолистых глееватых почв	0–100
ДПБ3	SmallInteger_2	Доля дерново-подзолистых глеевых почв	0–100
ДПБ_ИГ	SmallInteger_2	Доля дерново-подзолистых заболоченных почв с иллювиально-гумусовым горизонтом	0–100
ДБ1	SmallInteger_2	Доля дерновых временно избыточно увлажненных почв	0–100
ДБ2	SmallInteger_2	Доля дерновых глееватых почв	0–100
ДБ3	SmallInteger_2	Доля дерновых глеевых почв	0–100
ТВ	SmallInteger_2	Доля торфяно-болотных верховых почв	0–100
ТП	SmallInteger_2	Доля торфяно-болотных переходных почв	0–100
ТН	SmallInteger_2	Доля торфяно-болотных низинных почв	0–100
АДБ	SmallInteger_2	Доля пойменных дерновых почв	0–100
АД_ИЛ_Б	SmallInteger_2	Доля пойменных иловато-болотных почв	0–100
АТН	SmallInteger_2	Доля пойменных торфяно-болотных почв	0–100
Примечание	String_40	Название водного объекта или другое	–

Таблица 1.10

**Учет продуктивной способности по группам
элементарного почвенного ареала в почвенной комбинации**

Элемент формулы почвенной комбинации	Литология почвообразующих пород (код ее обозначения в почвенной комбинации)		Средне-взвешенный балл бонитета
ДП	3(4,5)	Двучленные с водоупором (связные)	64,18
ДП	1(2)	Рыхлые (двучленные без водоупора)	36,57
ДПБ1	3(4,5)	Двучленные с водоупором (связные)	61,38
ДПБ1	1(2)	Рыхлые (двучленные без водоупора)	33,33
ДПБ2	3(4,5)	Двучленные с водоупором (связные)	37,63
ДПБ2	1(2)	Рыхлые (двучленные без водоупора)	26,95
ДПБ3	3(4,5)	Двучленные с водоупором (связные)	22,53
ДБ1	3(4,5)	Двучленные с водоупором (связные)	44,08
ДБ1	1(2)	Рыхлые (двучленные без водоупора)	35,8
ДБ2	3(4,5)	Двучленные с водоупором (связные)	25,95
ДБ2	1(2)	Рыхлые (двучленные без водоупора)	22,25
ТН	6	Торф низинный	65,6
ТП	6	Торф верховой	41,4
АДБ1	7(8)	Рыхлый (связный) аллювий	50,1
АДБ2	7(8)	Рыхлый (связный) аллювий	31,95
АДБ3	7(8,9)	Рыхлый (связный, пойменный) аллювий	20,35

Алгоритмы геоинформационного анализа почвенных комбинаций обеспечивают получение следующих выходных данных по каждой территориальной единице:

- векторные слои локализации, размеров и компонентного состава типов земель;
- тематические растровые слои факторного влияния условий землепользования;
- тематические цифровые карты агроэкологических групп земель сельскохозяйственного назначения по результатам картометрического анализа ПК;
- статистические данные для принятия решений в сфере территориального планирования и управления землепользованием.

Анализ СПП в формате базы данных при оценке систем природопользования снимает вопросы масштаба и в сочетании с данными дистанционного зондирования может не только служить для определения почвенно-ресурсного потенциала геосистем, но также стать основой для

мониторинга использования природных (в первую очередь земельных) ресурсов и имитационного моделирования, что позволяет делать прогнозы относительно состояния геосистем при изменении сценария землепользования. Имеются соответствующие исследования как на уровне административных районов¹, так и в региональном масштабе на территории республики².

Необходимость дифференциации подходов к использованию почв в разных ПЭП требует разработки производных карт почвенных свойств, создание которых возможно в автоматизированном режиме в программной среде ГИС. С данной целью применяется слой «Почвы» локальных земельно-информационных систем административных районов республики³ и следующие коды атрибутивной таблицы почвенного класса данных для каждой разновидности почв в почвенной комбинации:

- Kod 1.1 – генезис почвенной разновидности в соответствии с номенклатурным списком почв Беларуси⁴;

- Kod 1.2 – генезис почвообразующих пород: 1. Моренные, 2. Озерно-ледниковые, 3. Водно-ледниковые, 4. Лессовидные, 5. Лессы, 6. Древнеаллювиальные, 7. Аллювиальные, 8. Органогенные, 9. Коренные известковые, 10. Пресноводные известковые;

- Kod 1.3 – гранулометрический состав для минеральных (в том числе деградированных) почв и ботанический состав для органогенных почв: 1. Глинистые, 2–4. Тяжело-, средне- и легкосуглинистые, 5–6. Связно- и рыхлосупесчаные, 7–8. Связно- и рыхлопесчаные, 9. Иловатые, 10. Торфяно-суглинистые, 11. Торфяно-супесчаные, 12. Торфяно-песчаные, 20. Ботанический состав не установлен, 21. Древесный, 22. Осоково-древесный (древесно-осоковый), 23. Пушицево-осоковый (осоково-пушицевый), 24. Осоковый, 25. Осоково-тростниковый (тростниково-осоковый), 26. Древесно-тростниковый (тростниково-осоковый), 27. Тростниковый, 28. Древесно-гипновый (гипново-древесный), 29. Древесно-сфагновый (сфагново-древесный), 30. Травяной, 31. Травяно-моховый (мохово-травяной), 32. Моховый, 33. Сфагновый, 34. Пушицево-сфагновый (сфагново-пушицевый), 35. Сосново-пушицевый (пушицево-сосновый), 36. Осоково-сфагновый, 37. Гипново-пушицевый (пушицево-гипновый);

¹ Методика агроэкологической оценки почвенно-ресурсного потенциала эрозийных и заболоченных агроландшафтов северной, центральной и южной провинций Беларуси / Н. Н. Цыбулько [и др.].

² Червань А. Н., Давидович Ю. С. Типология геосистем Белорусского Полесья // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. № 2. С. 3–23. 2024.

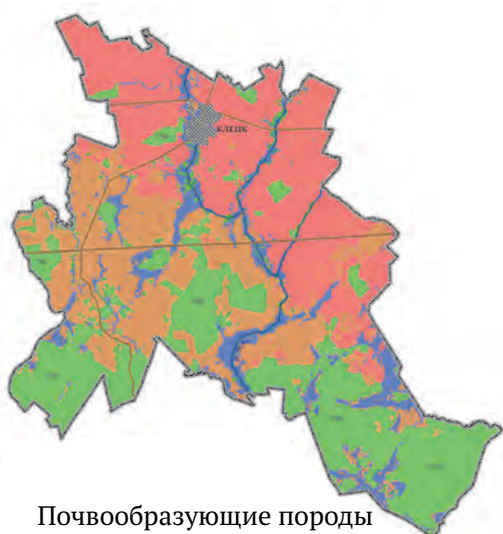
³ Методические рекомендации на выполнение работ по созданию тематического слоя «Почвы» земельно-информационной системы. Минск, 2006.

⁴ Номенклатурный список почв Беларуси (для целей крупномасштабного картографирования) / Н. И. Смян [и др.] ; Ин-т почвоведения и агрохимии, Проект. ин-т «Белгипрозем». Минск, 2003.



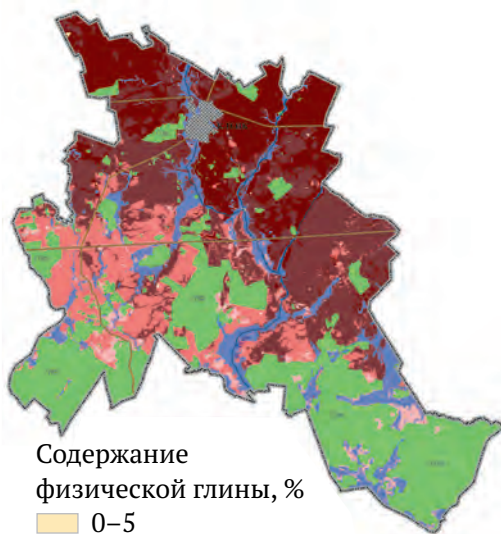
Генетическое строение почвенного профиля

- Почвы на однородных породах
- Почвы с двухчленным строением
- Почвы с трехчленным строением



Почвообразующие породы

- Моренные
- Водно-ледниковые
- Лессовидные
- Аллювиальные
- Органогенные



Содержание физической глины, %

- 0–5
- 5–10
- 10–15
- 15–20
- 20–30
- Органогенные отложения



Нуждаемость почв в мелиорации

- Слабо нуждаются
- Средне нуждаются
- Сильно нуждаются
- Не нуждаются

Рис. 1.13. Примеры прикладных тематических карт в ГИС.
Источники: Клебанович Н. В., Сазонов А. А., Червань А. Н.
Почвенное ГИС-картографирование : практикум. Минск, 2019

• Kod 1.4 – характер подстилаяния для минеральных и органогенных почв: 1. Однородное строение, 2. Глинами и тяжелыми суглинками с глубины (далее – гл.) до 0,5 м, 3. Средними и легкими суглинками, связными супесями с гл. до 0,5 м, 4. Связными породами с гл. 0,5–1,0 м, 5. Связными породами глубже 1,0 м, 6. Рыхлыми породами около 0,5 м и связными породами с гл. 0,5–1,0 м, 7. Связными породами около 0,5 м и рыхлыми породами с гл. 0,5–1,0 м, 8. Рыхлыми породами до 0,5 м и связными породами глубже 1,0 м, 9. Рыхлыми породами с 0,5–1,0 м и связными породами глубже 1,0 м, 10. Рыхлыми породами с гл. до 0,5 м, 11. Рыхлыми породами с гл. 0,5–1,0 м, 12. Рыхлыми породами глубже 1,0 м, 13. Известковыми породами до 1,0 м, 14. Известковыми породами глубже 1,0 м, 15. Торфом с гл. до 1,0 м, 16. Торфом глубже 1,0 м, 21. Однородное строение, 22. Связными породами, 23. Связными породами мощностью до 0,5 м, а глубже рыхлыми породами, 24. Рыхлыми породами, 25. Рыхлыми породами мощностью до 0,5 м, а глубже связными, 26. Сапропелями, 27. Сапропелями мощностью до 1,0 м, а глубже связными породами, 28. Сапропелями мощностью до 1,0 м, а глубже рыхлыми породами.

Производные слои в ГИС (рис. 1.13), характеризующие литологическую неоднородность (подстилаяние) почвенного профиля, создаются по полю «Kod 1.4» и имеют важное значение с агрономической точки зрения, главным образом с позиций поведения почвенной влаги и распределения микро- и макроэлементов по почвенному профилю, особенно для почв двух- и трехчленного сложения.

Прикладные карты почвообразующих пород создаются по полю «Kod 2» слоя «Почвы» ЗИС. Почвообразующие породы являются частью твердой фазы почвы и определяют исходные текстурные, минеральные, химические, физико-химические, физико-механические и водно-воздушные параметры. Реализацию производных слоев по гранулометрическому составу почв по коду «Kod 1.3» слоя «Почвы» ЗИС во многом характеризуют интенсивность и характер почвообразовательных процессов, физические и химические свойства почв, условия обработки, дозы удобрений, сроки сельскохозяйственных работ. ГИС-анализ разработанных картограмм содержания физической глины в почвах указывает на значительное разнообразие в пределах даже однородных контуров почвообразующих пород.

Следует отметить возможность создания большого перечня производных слоев в ГИС, характеризующих как условия почвообразования, так и оценку почв с позиций эффективных направлений природопользования.

В связи с тем, что в Беларуси рельеф выступает одним из ведущих факторов почвообразования, прежде чем оценивать СПП, целесообразно предварительное создание таких слоев, как формы и элементы рельефа, распределение склонов по уклонам, формам, экспозициям; развитие микроформ рельефа, зон водной эрозии и дефляции почв. С точки зрения агрофизического и агрохимического состояния почв для целей планирования агроландшафтов параллельно в ГИС создаются слои содержания питательных элементов,

содержания гумуса, содержания микроэлементов, агроэкологических видов земель, полей севооборотов и производственных участков, возделывания отдельных культур и охранных зон землепользования. Полученная таким образом многослойная база данных позволяет создать топологическую модель – пространственную основу сценариев эффективного природопользования с прогнозной составляющей.

1.3. Оценка состояния почвенного покрова

Для анализа состава и состояния почвенного покрова используются две основные группы методов:

- историко-геоморфологические (сравнительно-географические) – направлены на поиск условий, путей образования и возраста тех элементов рельефа, на которых образовались почвы. Это обусловлено тем, что различным по возрасту, форме и истории образования элементам рельефа соответствуют различные типы почв;
- почвенно-геохимические – изучают химические процессы почвообразования в пространстве и во времени с учетом геохимических процессов в ландшафте в целом.

На нижних уровнях организации почвенного покрова применяются методы, адаптированные из других естественных наук: химии, физики, геологии, минералогии, биологии, гидрологии. Специфические методы включают:

- профильные методы (изучение системы почвенных генетических горизонтов);
- сравнительно-исторические (основаны на принципе актуализма, который позволяет реконструировать по реликтовым свойствам почв условия их существования ранее);
- стационарные (изучение водных режимов, методы лизиметров и стоковых площадок);
- картографические (составление карт почвенного покрова, использование ДДЗ, метода почвенных ключей и т. д.);
- методы моделирования (экспериментальное воспроизведение изучаемых явлений, в том числе в программной среде ГИС).

В Республике Беларусь проводится постоянное обследование земель в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды, основной задачей которого является сбор и обработка данных для своевременного выявления и оценки изменений состояния земель. Под мониторингом земель подразумевают систему регулярных наблюдений, направленных на изучение состояния земель и изменений, вызванных как природными факторами, так и хозяйственной деятельностью. Она включает контроль за изменением состава, структуры, состояния земельных ресурсов, распределением земель

по категориям, землепользователям и видам земель в целях сбора, передачи и обработки полученной информации для своевременного выявления, оценки и прогнозирования изменений. Также результаты мониторинга способствуют своевременному предупреждению и устранению последствий негативных процессов, определению степени эффективности мероприятий, направленных на сохранение и воспроизводство плодородия почв, защите земель от негативных последствий.

Мониторинг земель осуществляется по следующим направлениям:

- наблюдения за составом, структурой и состоянием земельных ресурсов;
- наблюдения за состоянием почвенного покрова земель;
- наблюдения за химическим загрязнением земель.

Очевидно, что для оперативного и эффективного осуществления всех мероприятий по ведению мониторинга почвенно-земельных ресурсов верным является путь создания автоматизированной информационной системы мониторинга земель на основе современных компьютерных технологий, в частности ГИС-технологий. При этом существенную часть мониторинга земель занимают мероприятия по почвенному мониторингу.

Система почвенного мониторинга включает крупномасштабное агрохимическое обследование почв сельскохозяйственных земель, а также создание сети почвенных разрезов, стационарных площадок, длительных стационарных полевых опытов с удобрениями. В рамках агрохимического обследования почв, проводимого каждые четыре года, определяются все ключевые агрохимические параметры почвенного плодородия (рН, фосфор, калий, гумус, кальций, магний, сера, микроэлементы – бор, медь, цинк)¹. Результаты агрохимических анализов используются для составления соответствующих картодиаграмм, которые служат основой проведения почвенно-экологического районирования территории, разработки и реализации научно обоснованных агрохимических и агротехнических мероприятий. На стационарных площадках и почвенных разрезах исследуются процессы изменения и эволюции почвенного покрова, в длительных полевых опытах с удобрениями – влияние средств химизации на агрохимические характеристики плодородия, урожайность сельскохозяйственных культур и качество продукции.

Объектами наблюдения за динамикой свойств почв и почвенного покрова являются:

- типичные районы;
- сельскохозяйственные предприятия;
- ключевые участки;
- поля наблюдения;
- стационарные площадки.

¹ Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: методические указания / И. М. Богдевич [и др.] ; под ред. И. М. Богдевича. Минск, 2012.

На рис. 1.14 приведены типичные районы в составе каждой почвенно-экологической провинции, внедренные в автоматизированную базу данных агроэкологического состояния почвенного покрова Беларуси. Информация, представленная в атрибутивных таблицах классов данных, может быть разбита на несколько подгрупп, сходных по своему представлению и ранжированности типов данных:

- различные типы привязки объекта к местности;
- классификационная часть;
- морфологические свойства почвы;
- гранулометрический состав;
- физические и химические свойства почвы.

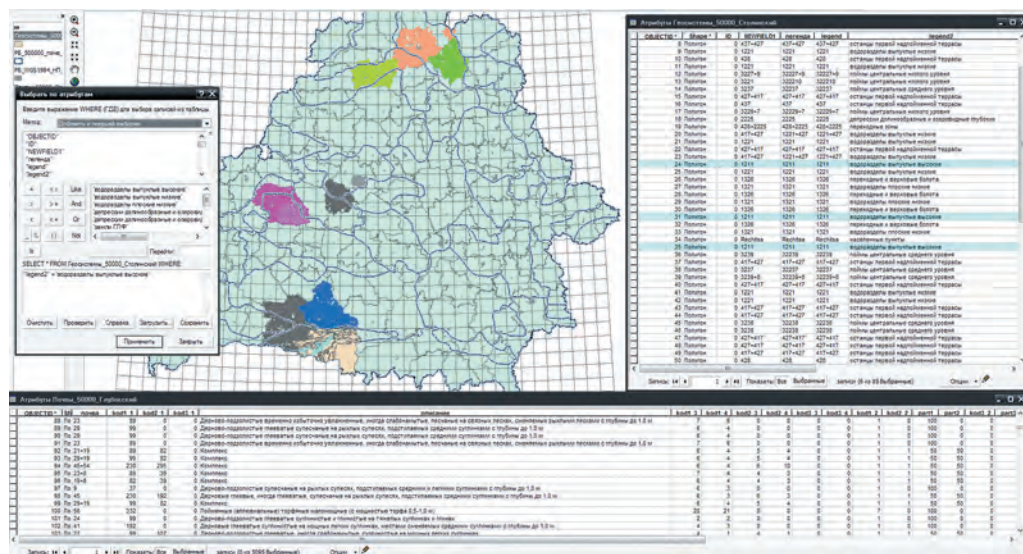


Рис. 1.14. Типичные районы почвенного мониторинга

В ходе мониторинга земель ключевой участок выбирается на территории сельхозпредприятия, на котором периодически выполняется детальная почвенная съемка с целью изучения трансформации почв и почвенного покрова. Ключевой участок должен характеризовать наиболее типичную почвенную комбинацию исследуемого района и включать сельскохозяйственные виды земель, характерные для данной комбинации. Кроме того, для наиболее распространенной почвенной разновидности в пределах ключевого участка с целью получения сравнительных данных с целинным вариантом почвы подбирается лесной аналог.

На выбранных ключевых участках и полях наблюдений создаются стационарные площадки наблюдений. При этом на ключевом участке или поле наблюдений может быть, как правило, только одна площадка. В зависимости от степени неоднородности почвенного покрова величина стационарных площадок варьирует в широких пределах от 0,2 до 2,0 га. В ус-

ловиях однородного почвенного покрова они могут быть более крупными (100 × 100 м, 100 × 200 м). В районах с очень сложным (пестрым) почвенным покровом размеры площадок уменьшаются до 0,5–0,2 га, в отдельных случаях – до 4,1 га (50 × 100 м, 50 × 25 м). Площадки по возможности должны вписываться в реальный рисунок почвенного покрова, в связи с чем их форма может быть квадратной, вытянутой (например, 20 × 100 м) и линейной (150 × 500 м). Последняя, в частности, приемлема для длинных эродлируемых склонов, как правило, характеризующихся легкосуглинистыми почвообразующими породами. Стационарные площадки инструментально привязываются к местным стабильным ориентирам или специальным реперам.

В ходе почвенного мониторинга проводятся наблюдения:

- за динамикой почвенного покрова (состав, соотношение почв, размер почвенных выделов, сложность, контрастность);
- изменением агропроизводственных и генетико-производственных свойств почв в процессе их хозяйственного использования.

Основной принцип в разработке стратегий оптимального использования почвенных ресурсов заключается в дифференцированном подходе, который подразумевает группировку сельскохозяйственных земель по категориям их агрономической пригодности¹. Для достижения данной цели необходимо более глубокое соответствие элементов земледелия почвенно-ландшафтными и организационно-технологическим условиям, т. е. агроэкологическая типизация земель.

Тип земель представляет отчетливый обнаруживаемый на местности участок, соизмеримый с единицей хозяйственного использования с однотипным строением мезорельефа, одной группой почвообразующих пород, представленной одной почвенной мезокомбинацией, совокупные свойства которой определяют уровень и степень хозяйственной нагрузки, направления оптимизации землепользования и охраны почв. Обоснование видов и объемов защитных мероприятий должно быть, с одной стороны, адаптировано по агроэкологическим типам земель, а с другой – к технологиям возделывания сельскохозяйственных культур².

Типизация почвенно-земельных ресурсов проводится на основании критериев как непосредственно измеряемых, так и получаемых из измеряемых характеристик по определенным формулам. Агропроизводственная группировка и агроэкологическая оценка проводятся на примере базовых районов и ключевых сельхозпредприятий, отражающих типичные условия почвенно-экологических провинций республики, с привлечением материалов

¹ Система оценки экологической емкости агроландшафтов для формирования экологически устойчивых агроландшафтов / Н. П. Масютенко [и др.]. Курск, 2011.

² Кирюшин В. И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов.

почвенного и агрохимического обследования, кадастровой оценки сельскохозяйственных земель¹.

Формирование *адаптивно-ландшафтных систем земледелия* базируется на использовании земель определенной экологической группы, ориентировано на производство продукции экономически и экологически обусловленного количества и качества, обеспечивающего устойчивость агроландшафта и воспроизводство почвенного плодородия. Агроэкологические группы земель выделяются по ведущим факторам, определяющим направления их сельскохозяйственного использования, а обособляющиеся внутри них агроэкологические типы земель – по признаку экологически однородной территории для культуры или группы культур, создавая таким образом каркас для построения адаптивно-ландшафтной системы земледелия.

Принципы формирования АЛСЗ включают: системный подход к формированию почвозащитных АЛСЗ; учет ландшафтных особенностей территории; нормирование антропогенной нагрузки с учетом устойчивости почв к техногенным воздействиям; планирование почво- и водоохранных мероприятий на основе нормативной оценки почвозащитной способности элементов земледелия; обеспечение природоохранной направленности; социально-экономическая целесообразность².

Агропроизводственный блок оценки состояния почвенно-земельных ресурсов включает статистико-картометрическую обработку атрибутивных данных фактического использования земель для выявления пространственных закономерностей распределения значений качественных и количественных показателей ресурсного потенциала, определения степени антропогенной нагрузки по направлениям природопользования и ее нормирования в агроландшафтах с использованием материалов агрофизического мониторинга, агрохимического обследования земель и ДДЗ.

Геосистемный подход реализуется в одноименном блоке автоматизированного учета состояния почвенно-земельных ресурсов по принципам геоинформационного описания СПП в ранге микро- (идентификация по крупномасштабным планово-картографическим материалам) и мезокомбинаций (масштаб растровой основы не крупнее 1 : 25 000). Соподчиненность СПП оценивается с использованием данных кадастрового учета земель, материалов актуального тура почвенных обследований и параметров цифровой модели рельефа на территории пилотных эрозионно опасных и гидротехнически мелиорированных агроландшафтов.

Особое значение организация территории приобретает в эрозионных агроландшафтах, для которых характерно снижение производительной

¹ Методика агроэкологической оценки почвенно-ресурсного потенциала эрозионных и заболоченных агроландшафтов северной, центральной и южной провинций Беларуси.

² Каштанов А. Н. Эрозия почв. М., 2007.

способности почв и экологической устойчивости. Объективная оценка степени эрозионной опасности почв позволяет ранжировать типы земель, агротехнологические и агропроизводственные группы по возможной интенсивности сельскохозяйственного использования, в том числе на водосборах озер и рек.

Анализ агроэкологических характеристик почв показывает, что существуют определенные различия между почвами одной генетической принадлежности или одного гранулометрического состава, находящимися в разных почвенно-экологических провинциях. Так, дерново-подзолистые почвы на большей части территории Белорусского Поозерья имеют более высокие значения экологических показателей, что определяет в совокупности менее благоприятную агроэкологическую обстановку по сравнению с теми же почвами Белорусской гряды и Белорусского Полесья. Дерново-подзолистые заболачиваемые почвы Белорусской гряды и прилегающих к ней равнин также отличаются менее оптимальными агроэкологическими показателями. Песчаные и торфяные почвы Белорусского Полесья имеют относительно благоприятную экологическую обстановку. Однако на территории осушенных земель эта ситуация коренным образом меняется: срабатывается торф, обнажаются пески, растет угроза дефляции.

Оценка экологического состояния наиболее уязвимых для процессов водной эрозии дерново-подзолистых суглинистых почв в первую очередь учитывает показатели агрофизического состояния пахотного слоя почвенного покрова. Важнейшими факторами деградации физического состояния пахотного слоя, особенно почв суглинистого и глинистого гранулометрического состава, являются процессы дезагрегации почвенной массы в результате снижения содержания органического вещества и ухудшения его качества (дегумификация) и накладывающегося на эти процессы уплотняющего воздействия сельскохозяйственной техники, вызывающие процессы водной эрозии. Основными показателями деградации физического состояния пахотного слоя почв являются ухудшение их структуры и повышение плотности сложения.

В Беларуси при разработке технологических регламентов возделывания сельскохозяйственных культур используется нормативная оценка почвозащитной способности элементов земледелия (возделываемые культуры, дифференцированные севообороты и структуры посевных площадей, адаптивные приемы обработки почвы и системы удобрения), позволяющая на объективной основе определить наиболее эффективный комплекс приемов, направленных на предотвращение процессов деградации почв. Основными критериями такой оценки в противоэрозионных мероприятиях служат величина предотвращенного смыва почвы (т/га в год) и изменение (ухудшение или улучшение) агрофизических свойств почв, обуславливающих их противоэрозионную устойчивость.

Источниками информации для оценки почвенно-земельных ресурсов являются:

- почвенные карты (М 1 : 50 000 и 1 : 10 000) административных районов и сельскохозяйственных организаций – выделяют территории с близкими почвенно-геоморфологическими условиями и определяют их в качестве типов земель, идентифицируемых по формуле почвенных комбинаций. Последующий анализ в пределах типов земель дает возможность получить сведения о составе почв и составить легенду, учитывающую долю каждой почвенной разновидности в общей площади типов земель. При этом оценивается количество эродированных и эрозионно опасных почв, а также заболоченность отдельных контуров;

- схемы землеустройства территории районов и хозяйств (М 1 : 50 000 и 1 : 10 000) – определяют, в пределах каких типов земель осуществляется сельскохозяйственное производство разной степени интенсивности;

- данные последнего тура агрохимических обследований территории хозяйств – определяют величину коэффициента окультуренности почв отдельных землепользователей и выявляют различия в степени окультуренности почв эрозионных и заболоченных агроландшафтов;

- шкала оценочных баллов пахотных почв под различные сельскохозяйственные культуры и луговых земель – указывает на средневзвешенную величину балла бонитета для конкретных типов земель;

- методика оценки неоднородности почвенного покрова с использованием шкалы контрастности почв и коэффициентов расчлененности – формирует представление об оптимальном направлении землепользования.

В практике агроэкологической оценки используют следующие критерии оценки агроэкологического состояния почвенно-земельных ресурсов:

- исходный балл бонитета почв;
- эродированность почв;
- заболоченность почв;
- степень неоднородности почвенного покрова;
- плотность загрязнения радионуклидами (при наличии)¹.

Все критерии (показатели) характеризуются различной степенью выраженности и существенно снижают возможность ведения интенсивного сельскохозяйственного производства. Их количественная оценка с достаточно высокой степенью достоверности может быть получена на основе анализа информации почвенных карт. Для получения сопоставимых данных по критериям оценки агроэкологической составляющей ресурсного потенциала для конкретных типов земель используется система оценочных баллов. Для каждого параметра баллы изменяются от 1 до 5 и отражают степень выраженности фактора в данных условиях для типа земель.

¹ Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия – Беларусь) / под ред. Ю. А. Израэля, И. М. Богдевича. М. ; Минск, 2009.

Оценка предрасположенности и (или) подверженности эрозии выполняется в соответствии с разработанной шкалой выделения земель с разной степенью проявления водно-эрозионных процессов:

- 5 баллов – преобладают неэродированные почвы, доля эрозионно опасных земель составляет менее 5 %;
- 4 балла – доля слабоэродированных почв составляет менее 5 %, эрозионно опасных земель – 5–10 %;
- 3 балла – доля эродированных почв составляет 5–10 %, эрозионно опасных земель – 10–25 %;
- 2 балла – доля эродированных почв составляет 10–25 %, эрозионно опасных земель – 25–50 %;
- 1 балл – доля средне- и сильноэродированных почв составляет более 25 %, эрозионно опасных земель – более 50 %.

Оценка неоднородности почвенного покрова предполагает, что наиболее однородный почвенный покров характеризуется коэффициентом неоднородности менее 5. Слабая и средняя степень неоднородности оцениваются величиной коэффициента от 5–10 до 10–20. Для сильнонеоднородного почвенного покрова величина коэффициента неоднородности превышает 25. Условная балльная группировка СПП по степени неоднородности:

- 5 баллов – КН менее 5;
- 4 балла – КН от 5 до 10;
- 3 балла – КН от 10,1 до 20;
- 2 балла – КН от 20,1 до 25;
- 1 балл – КН более 25.

При оценке критерия заболоченности используют следующую градацию:

- 5 баллов – более 50 % площади занимают незаболоченные, не требующие мелиорации почвы (почвенный покров представлен дерново-подзолистыми автоморфными, а также оглееными на контакте и временно избыточно увлажненными почвами на рыхлых породах, доля торфяно-болотных почв составляет менее 5 %);
- 4 балла – более 50 % площади занимают переувлажненные почвы, регулирование водного режима которых возможно путем проведения агро-мелиораций (почвенный покров представлен дерново-подзолистыми временно избыточно увлажненными почвами на связных породах или породах двучленного строения и глееватыми почвами на рыхлых породах, доля торфяно-болотных почв составляет 5–10 %);
- 3 балла – более 50 % площади занимают переувлажненные почвы, регулирование водного режима которых возможно путем проведения агро-мелиораций в сочетании с гидромелиорацией (почвенный покров представлен дерново-подзолистыми глееватыми почвами на связных породах и дерново-подзолистыми глеевыми почвами на песках и рыхлых супесях, доля торфяно-болотных почв составляет 10–20 %);
- 2 балла – более 50 % площади занимают переувлажненные минеральные почвы, регулирование водного режима которых возможно путем

проведения гидромелиораций (почвенный покров представлен дерново-подзолистыми глеевыми почвами на связных породах и дерновыми заболоченными почвами независимо от гранулометрического состава почвообразующих пород);

- 1 балл – 50–100 % – составляют торфяно-болотные почвы, регулирование водного режима требует проведения гидромелиорации.

Бонитет почв оценивается по закрытой 100-балльной оценочной шкале и представляет собой средневзвешенный исходный балл для типа земель. Средневзвешенный балл определяется по формуле, описывающей СПП типа земель:

- 5 баллов – средневзвешенный балл бонитета более 50;
- 4 балла – 40,1–50 баллов бонитета;
- 3 балла – 30,1–40 баллов бонитета;
- 2 балла – 20–30 баллов бонитета;
- 1 балл – менее 20 баллов бонитета.

Землеустройство, согласно Кодексу Республики Беларусь о земле¹, представляет собой систему юридических, экономических и технических мероприятий, направленных на регулирование земельных отношений, повышение эффективности использования и охраны земель, сохранение и улучшение окружающей среды. Ключевым элементом землеустройства для категории земель сельскохозяйственного назначения является кадастровая оценка земель. *Кадастровая оценка земель* предусматривает учет плодородия почв в баллах бонитета, технологических характеристик земельных участков, местоположения и обобщающую синтезирующую оценку. Кадастровая оценка включает следующие блоки:

- оценка плодородия почв (исходный балл почв по оценочной шкале и балл с учетом факторов, негативно влияющих на производительную способность почв);

- оценка технологических свойств земельных участков;
- оценка местоположения;
- обобщающая (синтезирующая) оценка (нормативный чистый и дифференцированный доход), совокупный (или общий) балл кадастровой оценки земель, нормативная цена земли.

Система поправочных коэффициентов к баллам бонитета предусматривает поправочные коэффициенты на эродированность, завалуненность и окультуренность почв, генезис почвообразующих пород, мелкоконтурность и мелиоративное состояние участков. В табл. 1.11 приведена оценка факторов, влияющих на продуктивную способность почв республики. На рис. 1.15 отражены результаты кадастровой оценки сельскохозяйственных земель Беларуси: средний балл пахотных земель составляет 31,2, сельскохозяйственных – 28,9.

¹ Кодекс Республики Беларусь о земле : 23 июля 2008 г. № 425-З : принят Палатой представителей 17 июня 2008 г. : одобр. Советом Респ. Беларусь 28 июня 2008 г. : с изм. и доп. от 6 ноября 2008 г. № 447-З, 29 декабря 2009 г. № 73-З, 28 декабря 2008 г. № 96-З, 6 мая 2010 г. № 120-З // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2008. № 187. 2/1522.

Таблица 1.11

**Оценка факторов, влияющих на продуктивную способность почв
в почвенно-экологических провинциях Беларуси
(по материалам кадастровой оценки)**

Провинция	Снижение балльной оценки почв за счет										Окончательный балл
	генетических свойств почв			культуртехнических и других характеристик							
	Тип почв	Гранулометрический состав	Увлажнение	Окультуренность	Неоднородность	Контурность	Эродированность	Завалуненность	Мелиоративное состояние	Агроклиматические условия	
Северная	19,7	16,6	6,8	8,0	0,5	6,4	0,9	0,7	1,6	13,1	25,7
Центральная	17,7	25,1	5,7	5,6	0,4	2,3	0,7	0,7	0,2	8,6	33,0
Южная	17,0	37,4	4,1	4,3	0,6	2,2	0,1	0,0	0,8	3,5	30,0
В целом по рес-публике	17,3	26,5	5,8	5,7	0,5	2,9	0,6	0,5	0,6	8,4	31,2

Бонитировка почв является ядром кадастровой оценки сельскохозяйственных земель и представляет собой сравнительную оценку качества почв по их производительной способности. Бонитировка почв заключается в определении относительной пригодности рабочих участков для возделывания основных сельскохозяйственных культур исходя из почвенного покрова (по шкале бонитировочных баллов почв) и наличия факторов, дополнительно влияющих на урожайность (с учетом поправочных коэффициентов). При построении закрытой 100-балльной шкалы бонитировки в качестве критерия оценки послужили основные свойства почв, определяющие их типовые различия, степень заболоченности, гранулометрический состав и характер строения почвообразующих пород.

Баллы бонитета почв под различные сельскохозяйственные культуры могут использоваться самостоятельно или служить в качестве научной основы для проведения экономической или стоимостной оценки земель.

Шкала оценочных баллов почв разрабатывается для участков почв, обладающих комплексом оптимальных для роста и развития сельскохозяйственных культур свойств почв и их культуртехнического состояния: отсутствует эродированность и завалуненность почв, агрохимические свойства соответствуют их оптимальным параметрам, рабочий участок включает отдельно обрабатываемые участки площадью более 15 га. В таких случаях качество земель совпадает со сравнительной оценкой почв по шкале.

Группа	Балл	Количество районов
1-я	38,0 и более	4
2-я	34,0–37,9	21
3-я	30,0–33,9	46
4-я	26,0–29,9	34
5-я	22,0–25,9	12
6-я	22,0 и менее	1

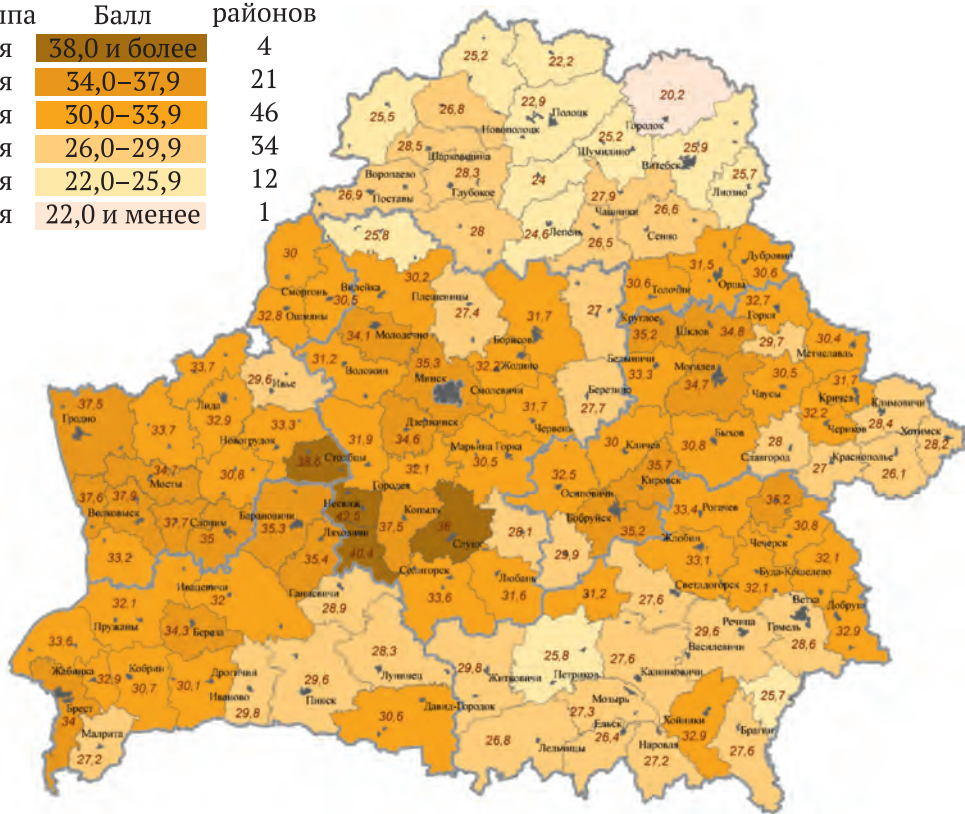


Рис. 1.15. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель Беларуси по административным районам: группы земель с максимальной (1), высокой (2), повышенной (3), пониженной (4), низкой (5) и минимальной (6) продуктивностью почв

На участках, где свойства почв отличаются от оптимальных, в полученный по таблице средневзвешенный балл почвенных разновидностей участка вводятся соответствующие поправочные коэффициенты на агроклиматические условия, эродированность, завалуненность, окультуренность почв, контурность угодий, мелиоративное состояние земель. Оценка влияния отдельных характеристик агротехнического состояния почв агроландшафта на производительную способность почв позволяет определять коэффициенты снижения их производственного потенциала (табл. 1.12). В зависимости от количественных показателей устанавливается оптимальное, допустимое, неудовлетворительное и критическое состояние земель сельскохозяйственного назначения.

Почвы Беларуси подвержены различным видам деградации. В основу выделения типов и видов деградации почв могут быть положены следующие факторы: изменение элементарных почвенных процессов и их сочетаний и преобразование в негативную сторону биосферно-экологических функций почвы.

Таблица 1.12

**Коэффициенты снижения
производственного потенциала почв**

Площадь эродированных почв (в % от площади пашни)	Коэффициент	Площадь завалушенных почв, %	Коэффициент	Средний размер контура (участка), га	Коэффициент	Площадь заболоченных почв (в % от площади пашни)	Коэффициент	Качественная оценка состояния земель
<1,0	1,0	<5,0	1,0	>15,0	1,0	<10	1,0	Оптимальное состояние
1,0–5,0	0,98	5,0–20,0	0,99	15,0–13,1	0,98	10–30	0,98	Допустимое состояние
5,1–10,0	0,96	20,1–40,0	0,97	13,0–11,1	0,96	30–50	0,95	
10,1–25,0	0,92	40,1–70,0	0,95	11,0–9,1 9,0–7,1	0,94 0,91	50–80	0,92	Неудовлетворительное состояние
≥25,1	≤0,86	>70,0	0,92	7,0–3,1	≤0,88	>80	≤0,88	Критическое состояние

В Беларуси выделяют физический, профильный, химический, биологический и биосферно-экологический (общезункциональный) типы деградации почв. В табл. 1.13 приведены качественные группы и критерии состояния почв при проявлении отдельных видов их деградации.

Таблица 1.13

**Оценочные показатели деградации почв
по физическим и другим показателям**

Критерий	Степень деградации*				
	0	1	2	3	4
Увеличение равновесной плотности пахотного слоя почвы, % от исходного (недеградированного)	<10	11–20	21–30	31–40	>40
Потери почвенного мелкозема, т/га в год	<2,0	2,1–5,0	5,1–10,0	10,1–20,0	>20
Запасы гумуса в эрозионно опасных почвах, т/га	>55	35–49	20–34	10–19	<10

Критерий	Степень деградации*				
	0	1	2	3	4
Содержание гумуса в эрозионно опасных почвах, %	>1,80	1,30–1,80	1,29–1,00	0,99–0,70	0,69–0,40
Увеличение плотности в зависимости от степени проявления эрозии	$1,15 \pm 0,14$	$1,32 \pm 0,09$	$1,43 \pm 0,08$	$1,51 \pm 0,11$	$1,57 \pm 0,09$
Общая пористость, %	56	50	44	40	30
Внутренняя энергия гумуса в пахотном слое 1 м^2 , 10^5 ккал	0,27	0,24	0,23	0,13	0,08
Внутренняя энергия прочносвязанной воды в пахотном слое 1 м^2 , 10^5 ккал	1,3	1,3	1,5	2,1	2,6
Внутренняя энергия кристаллической решетки минералов, фракции менее 0,001 мм в пахотном слое 1 м^2 , 10^5 ккал	9,6	10,4	16,0	22,9	27,3
Внутренняя энергия кристаллической решетки минералов, фракции менее 0,001 мм в пахотном слое 1 м^2 , 10^5 ккал	123	136	141	200	271
Полная внутренняя энергия в пахотном слое 1 м^2 , 10^5 ккал	134	148	159	225	264
Снижение или потеря производительной способности почв от эрозии, % по сравнению с незеродированной	<5	5–15	15–30	30–50	>50

* Здесь и в табл. 1.15 степень деградации: 0 – нулевая; 1 – слабая; 2 – средняя; 3 – высокая; 4 – экстремальная.

На деградированных сельскохозяйственных землях, как правило, выделяется от трех до семи вариантов деградации почв. В табл. 1.14 отражены значения проявления процессов деградации на почвах сельскохозяйственных земель Беларуси.

Таблица 1.14

**Основные виды и показатели деградации
почвенного покрова сельскохозяйственных земель**

Вид деградации	Показатель деградации	Значение показателя
Водная эрозия	1.1. Уменьшение мощности плодородного слоя почвы, %	10 и более
	1.2. Появление, увеличение глубины промоин и рытвин относительно поверхности, см	21 и более
	1.3. Появление или увеличение мощности абiotического (неплодородного) наноса, см	3 и более
Дефляция	2.1. Уменьшение мощности плодородного (гумусированного) слоя почвы, %	10 и более
	2.2. Появление или увеличение мощности абiotического наноса, см	3 и более
Выгорание осушенных торфяников	3.1. Удельный вес площади выгоревших торфяников в площади земельного участка, %	более 0
Заращение пахотных и луговых земель кустарниковой растительностью	4.1. Удельный вес площади земельного контура, покрытого древесно-кустарниковой и (или) сорной растительностью, в площади земельного контура или земельного участка, %	5 и более
Минерализация осушенных торфяно-болотных почв	5.1. Сработка торфа, см в год	2 и более
	5.2. Уменьшение мощности торфяного слоя, %	10 и более
Подтопление и заболачивание сельскохозяйственных земель при невыполнении условий эксплуатации мелиоративных систем	6.1. Повышение уровня грунтовых вод до поверхности земли, м	0,65 и менее
	6.2. Удельный вес площади контура с погибшей основной растительностью и (или) с появившейся влаголюбивой растительностью в площади земельного контура или земельного участка, %	5 и более
Ухудшение культурно-технического состояния сельскохозяйственных земель	7.1. Появление или увеличение удельного веса площади контура завалуненных (каменистых) земель в площади земельного участка, %	5 и более
	7.2. Появление или увеличение объема валунов (камней) в верхнем 30-сантиметровом слое почвы, м ³ /га	5 и более
	7.3. Появление или увеличение удельного веса площади контура заочкаренных луговых земель в площади земельного участка, %	10 и более
	7.4. Удельный вес площади контура с поврежденным травостоем в площади земельного участка, %	10 и более

Физическая деградация почв включает в себя деструктуризацию, дезагрегацию (разрушение агрономически ценной структуры при длительной и плохой обработке почвы), переуплотнение до глубины 0,5 м (приводит к сокращению порового пространства и фильтрации воды), дегидролизацию в результате нерационального изменения уровня грунтовых вод при мелиорации, агротехнического нарушения правил и сроков проведения обработки почвы, аэрологического нарушения (ухудшение газообмена между атмосферой и почвой) теплового режима почв в результате осветления верхнего горизонта при уменьшении содержания гумуса и органического вещества, а также водного режима почв (вторичное заболачивание, подтопление и др.).

В профильной деградации возможно выделение следующих видов: эрозийная плоскостная (слабо-, средне-, сильно- и очень сильноэрозийная), гидромеханический смыл одного или нескольких горизонтов, эрозийная овражная (развитие линейной эрозии), делювиальная (погребение гумусового горизонта), дефляционная, хаотизация почвенного покрова в результате турбации и горизонтального перемещения под влиянием строительных и иных работ.

В химическом типе деградации почв различают гумусовую, кальциевую, микроэлементную деградации, снижение содержания основных элементов питания растений, химическое загрязнение, засоление и радионуклидное загрязнение.

Биологический тип деградации почв включает в себя дефолиацию (оголение почвы от растительности), снижение активности мезофауны, микробиологическую, биохимическую (подавление деятельности микроорганизмов) и фитотоксическую деградацию.

В биосферно-экологическом (общефункциональном) типе деградации почв различают следующие виды: внутрипольную (пестрополье), пространственную (усложнение СПП под влиянием неравномерного развития многих видов деградации), общефункциональную, снижение или потерю производительной способности почв.

В Беларуси основным видом деградации почв сельскохозяйственных земель является водная эрозия. В настоящее время эродированные почвы занимают примерно 10 % пашни, еще около 40 % являются эрозийно опасными. В табл. 1.15 приведены показатели разной степени деградации почв вследствие водной эрозии. Средние недоборы урожаев зерновых культур в зависимости от степени эродированности почв составляют 12–40 %, пропашных – 20–60 и льна – 15–40 %. Это обусловлено тем, что в процессе эрозии утрачивается гумусовая часть почвы и элементы питания растений, подавляются энергетическая, гидрофизическая, биоаккумулятивная функции, определяющие ее плодородие. Смываемые мелкозем и биогенные элементы приводят к заилению и загрязнению рек и водоемов.

Таблица 1.15

Показатели эрозионной деградации почв

Критерий	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Отношение внутренней энергии решетки минералов фракции менее 0,001 мм к энергии гумуса	<70	70–105	105–210	210–320	>320
Уровень депрессии инвертазной активности, %	0	0–10	10,1–32	32,1–50	>50
Уровень депрессии уреазной активности, %	0	0–7	7,1–29	29,1–50	>50
Отношение каолинита к почвенному хлориту	>5,6	5,5–2,8	2,7–2,5	2,4–2,0	2,0
Увеличение равновесной плотности пахотного слоя почвы, % от исходного	<10	11–20	21–30	31–40	>40
Потери мелкозема почвы, т/га в год	<2,0	2,1–5,0	5,1–10,0	10,1–20,0	>20
Запасы гумуса в эрозионно опасных почвах, т/га	>55	35–49	20–34	10–19	<10
Содержание гумуса в эрозионно опасных почвах, %	>1,80	1,30–1,80	1,29–1,00	0,99–0,70	0,69–0,40
Увеличение плотности в зависимости от проявления эрозии	1,15 ± 0,14	1,32 ± 0,09	1,43 ± 0,08	1,51 ± 0,11	1,57 ± 0,09
Общая пористость, %	56	50	44	40	30
Внутренняя энергия гумуса в пахотном слое 1 м ² , 105 ккал	0,27	0,24	0,23	0,13	0,08
Внутренняя энергия прочносвязанной воды в пахотном слое 1 м ² , 105 ккал	1,3	1,3	1,5	2,1	2,6
Внутренняя энергия кристаллической решетки минералов, фракция менее 0,001 мм в пахотном слое 1 м ² , 105 ккал	9,6	10,4	16,0	22,9	27,3

Критерий	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Внутренняя энергия кристаллической решетки минералов, фракция более 0,001 мм в пахотном слое 1 м ² , 105 ккал	123	136	141	200	271
Снижение или потеря производительной способности почв от эрозии, % от исходной	<5	5–15	15–30	30–50	>50

Исследования показывают, что на пахотных землях ежегодно с 1 га водосборной площади с поверхностным стоком смывается или выносятся ветром в среднем до 10–15 т твердой фазы почвы, 150–180 кг гумусовых веществ, безвозвратно теряется до 10 кг азота, 4–5 кг фосфора и калия, 5–6 кг кальция и магния. Установлено, что отрицательное влияние контурности пахотных земель сказывается на размере рабочего участка менее 15 га.

По значениям неоднородности почвенного покрова на местности обособляются агротехнологические группы земель. В АЛСЗ, направленных на ограничения вероятности проявления водно-эрозионных процессов, алгоритм работы расчетного блока заключается в том, что по каждой отдельной агротехнологической группе земель определяется оптимальный тип севооборота умножением значения потенциального смыва почвы на нормативы противозерозионной способности различных севооборотов, способов обработки почвы и последующего сравнения полученного значения смыва с предельно допустимым смывом почвы (2 т/га). В базе данных подбирается тип севооборота, при котором расчетный смыв будет меньше предельно допустимого значения смыва или максимально приближен к нему. При этом программа определяет тип севооборота, при котором смыв на рабочем участке снижается до предельно допустимого значения или максимально к нему приближается.

Для разных почвенно-экологических районов характерны различные показатели контурности земель. Для Браславско-Ушачско-Городокского и Полоцко-Шумилинского почвенно-экологических районов, где средняя контурность составляет около 4 га, этот показатель имеет критическое значение. Почвенно-экологические районы, расположенные в зоне Белорусской гряды, характеризуются оптимальными размерами контуров сельскохозяйственных земель 16–19 га. Полесские агроландшафты обладают допустимым уровнем контурности, который составляет примерно 13,0 га.

Результаты изучения почвенного покрова республики показывают также, что для значительной части Беларуси характерна завалуненность сельскохозяйственных земель. Степень покрытости камнями связана с генезисом почвообразующих пород. Наиболее закамененные земли расположены в северной и центральной частях республики, сложенных моренными и водно-ледниковыми отложениями. Каменистость пахотных земель снижает урожайность сельскохозяйственных культур как непосредственно, так и косвенно из-за ухудшения качества обработки почвы.

Негативное влияние на качество земельных ресурсов оказывает также заболоченность. Многочисленными исследованиями установлено, что на дерново-подзолистых временно избыточно увлажненных суглинистых и супесчаных, подстилаемых мореной почвах общая продукционная способность по сравнению с автоморфными почвами падает на 15–20 %, на глееватых – на 35–40 и на глеевых – больше чем на 50 %¹. Дерново-подзолистые почвы, развивающиеся на рыхлых породах (супесчано-песчаные), отличаются тем, что временное избыточное переувлажнение является условием их рационального использования под пашню, а на глееватых почвах падение производительной способности составляет 20–25 % и на глеевых – 40–50 %. Заболоченность почв обрабатываемых земель ухудшает их агротехническое состояние до неудовлетворительного в Ивацевичско-Лунинецко-Петриковском, Туровско-Давид-Городокском, Полоцко-Шумилинском, Березинско-Кличевском почвенно-экологических районах и до критического – в Жабинковско-Ивановском почвенно-экологическом районе².

Исходными данными для нормативной оценки устойчивости отдельных почв и агроландшафтов в целом к процессам водной эрозии, в зависимости от применения различных элементов земледелия, служат результаты мониторинговых наблюдений за состоянием почвенного покрова, в том числе за динамикой контрастности и расчлененности ареалов в почвенных комбинациях³.

Учитываются показатели, характеризующие структурное состояние пахотного горизонта почв на различных почвообразующих породах (табл. 1.16) и распределение почв разного генезиса почвообразующих пород по их устойчивости к эрозионной деградации (табл. 1.17).

¹ Оценка степени устойчивости дерново-подзолистых почв Беларуси к агрогенным воздействиям / С. В. Шульгина [и др.] // Почвоведение и агрохимия. 2013. № 2(51). С. 43–55.

² Методика агроэкологической оценки почвенно-ресурсного потенциала эрозионных и заболоченных агроландшафтов северной, центральной и южной провинций Беларуси.

³ Червань А. Н. Картографическое обеспечение управляемого адаптивно-ландшафтного земледелия в агроландшафтах Беларуси. С. 21–29.

Таблица 1.16

**Показатели, характеризующие структурное состояние
пахотного горизонта почв на различных почвообразующих породах**

Почвообразующая порода	Коэффициент структурности	Содержание агрегатов, %	
		>10 мм	10,0–0,25 мм
Озерно-ледниковые суглинки	1,67	34,90	62,50
Лессовидные суглинки и лессы	1,50	31,11	59,64
Моренные суглинки	1,29	40,63	54,39
Водно-ледниковые суглинки	1,92	31,48	63,66
Озерно-ледниковые супеси	2,72	20,55	71,40
Моренные супеси	2,01	26,53	65,04
Водно-ледниковые и древне- аллювиальные супеси	2,10	21,73	67,43
Водно-ледниковые и озерно- ледниковые пески	4,25	7,58	76,02

Таблица 1.17

**Распределение почв разного генезиса почвообразующих пород
по их устойчивости к эрозионной деградации**

Почвообразующая порода	Критерий устойчивости			Оценка устойчивости
	Коэффициент по гранулометрическому составу	Коэффициент фильтрации, м/сут	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_2} \cdot 10$	
Водно-ледниковые пески	7,34	2,05	2,60	Высокая
Моренные пески	8,34	3,62	2,25	
Древнеаллювиальные пески	9,63	4,93	3,67	
Водно-ледниковые супеси	1,56	0,45	1,90	Средняя
Моренные супеси	1,97	0,27	2,06	
Лессовидные супеси	0,48	0,18	1,32	Низкая
Водно-ледниковые суглинки	0,85	0,20	1,76	
Моренные суглинки	1,12	0,26	1,83	
Лессовидные суглинки и лессы	0,20	0,14	1,05	Очень низкая

Источник: Методика агроэкологической оценки почвенно-ресурсного потенциала эрозионных и заболоченных агроландшафтов северной, центральной и южной провинций Беларуси / Н. Н. Цыбулько [и др.]. Минск, 2019.

Технология почвозащитной организации агроландшафтов основана на дифференцированном подборе элементов почвозащитного земледелия согласно данным количественной оценки потенциального смыва почвы, которые являются главным критерием опасности проявления и развития водной эрозии.

Природная неоднородность территории, проявляющаяся в закономерном рисунке, формируемом почвенными комбинациями, оценивается картометрически и интерполируется на территорию со схожими условиями и использованием почвенно-земельных ресурсов. Неоднородность почвенного покрова выступает обратно пропорциональным критерием возможности снижения проявления деградационных процессов, например зарастания древесно-кустарниковой растительностью или постмелиоративной деградации почвенно-земельных ресурсов¹. Орографические условия ареалов деградации земель уточняются по предварительно созданной цифровой модели рельефа с расчетом потенциального смыва почвы под действием ливневых осадков и вод в период снеготаяния.

Алгоритм работы расчетного блока заключается в следующем: по каждой отдельной агротехнологической группе земель определяется оптимальный тип севооборота умножением значения потенциального смыва почвы на нормативы противоэрозионной способности различных севооборотов, способов обработки почвы и последующего сравнения полученного значения смыва с предельно допустимым смывом почвы (2 т/га). В базе данных подбирается тип севооборота, при котором расчетный смыв будет меньше предельно допустимого значения смыва (2 т/га) или максимально приближен.

Геосистемный подход в полной мере реализуется в одноименном блоке автоматизированного учета состояния почвенно-земельных ресурсов по принципам геоинформационного описания СПП в ранге микро- (идентификация по крупномасштабным планово-картографическим материалам) и мезокомбинаций (масштаб растровой основы не крупнее 1:25 000). Соподчиненность СПП оценивается с использованием данных кадастрового учета земель, материалов актуального тура почвенных обследований и параметров цифровой модели рельефа на территории пилотных эрозионно опасных и гидротехнически мелиорированных агроландшафтов.

Идеальным вариантом практического использования результатов оценки неоднородности является приведение границ обрабатываемых участков в соответствие с границами почвенных комбинаций (типов

¹ Червань А. Н., Мельник В. Б., Яцухно В. М. Оценка и внутрирегиональные различия уязвимости почв сельскохозяйственных земель Белорусского Полесья к засухам в условиях потепления климата ... С. 444–453.

земель). В условиях сложившихся границ землепользования применение данного подхода возможно при помощи системы глобального позиционирования в качестве треков с реальными координатами местности. Треки являются границами виртуальной делимитации (размежевания, разграничения) полей с разными свойствами почв и уровнем плодородия для последующей дифференциации агротехнологий: способов обработки, разных доз и соотношений удобрений, средств защиты растений.

По данным III тура почвенно-геоботанических обследований, почвы с потенциально возможным проявлением водно-эрозионных процессов занимают около 32 % пахотных земель, в том числе уже подвержены эрозии около 10 %¹. Основными причинами эрозии почв являются:

- постоянное сокращение площадей с естественной растительностью, которая обладает высокими почвозащитными свойствами;
- высокая степень хозяйственной освоенности ландшафтов, вовлекающая в интенсивное использование эрозионно опасные земли;
- несовершенные формы организации территории в агроландшафтах;
- нарушение агротехники возделывания сельскохозяйственных культур при несоблюдении почвозащитных мероприятий;
- неблагоприятное сочетание природных и климатических условий ведения хозяйства.

Развитие эрозионных процессов зависит от совокупного воздействия геоморфологического, климатического, почвенного и антропогенного факторов. Геоморфологический фактор во многом обуславливает интенсивность эрозии, так как от рельефа местности зависят скорость и сила течения потоков воды, концентрация их на определенных площадях и линейных природных границах. Климатический фактор непосредственно влияет на эрозионные процессы через количество осадков и характер их выпадения. Большое значение также имеет характер почвообразующих пород, поскольку почва во многом наследует их свойства и противоэрозионную устойчивость. В последнее время все большее значение приобретает антропогенное воздействие, чаще всего оказывающее негативное влияние на процесс эрозии.

На территории Беларуси выделяют три почвенно-экологические провинции: Северную (характерно проявление плоскостной и механической водной эрозии), Центральную (свойственно проявление плоскостной и глубинной водной, а также частично ветровой эрозии) и Южную (характерна преимущественно ветровая эрозия) (рис. 1.16).

¹ Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.] ; под общ. ред. В. В. Лапы, А. Ф. Черныша ; Ин-т почвоведения и агрохимии.



Районы с наибольшей интенсивностью проявления водно-эрозионных процессов (>10 % в составе пашни)

- 1.1. Браславский
- 1.2. Россонско-Городокский
- 1.3. Поставско-Глубокско-Лепельский
- 10. Оршанско-Могилевский
- 11. Мстиславско-Дубровенский
- 13. Воложинско-Минский
- 21. Гродненско-Волковысский

Районы с высокой и очень высокой дефляционной опасностью

- 32. Ивацевичско-Лунинецко-Петриковский
- 33. Октябрьско-Светлогорский
- 37. Малоритский
- 40. Столинско-Лельчицко-Наровлянский

Рис. 1.16. Проявление эрозии почв в почвенно-экологических провинциях Беларуси

Проявление эрозионных процессов на территории Беларуси имеет региональные особенности. В Белорусском Поозерье и Центральной Беларуси, где выражен холмистый рельеф и преобладают почвы связного гранулометрического состава, наиболее активно протекают водно-эрозионные процессы. В Белорусском Поозерье эрозия развивается в условиях мелко- и средне-

холмистого рельефа на почвах, сформированных на моренных почвообразующих породах. В таких условиях наряду с водной эрозией активно развивается техногенная (механическая) эрозия, обусловленная обработкой почвы. В Центральной почвенно-экологической провинции (Белорусская гряда) эрозионные процессы формируются на лессовидных и лессовых породах, приуроченных к крупнохолмистым формам рельефа. Для этой зоны свойственна высокая сельскохозяйственная освоенность и распаханность территории, а сами почвы характеризуются крайне низкой устойчивостью к эрозии. В Южной (Полесской) зоне, где выполнен большой объем осушительной мелиорации и преобладают почвы легкого гранулометрического состава, а также осушенные торфяные почвы, заметное развитие получили процессы ветровой эрозии.

Из всех земель сельскохозяйственного назначения на долю земель, подверженных водной эрозии, приходится 5,3 %, ветровой – 1,1 %. Кроме этого, около 50 % пахотных земель относятся к эрозионно опасным, которые при неправильном использовании могут быть подвержены процессам эрозионной деградации (табл. 1.18, 1.19, рис. 1.17).

Таблица 1.18

**Площади сельскохозяйственных земель
с потенциальным смывом почв и их распределение
по административным областям Беларуси, %**

Область	Земли с потенциальным смывом, тыс. га	Смыв почвы, т/га				
		>2,0	2,1–5,0	5,1–10,0	10,1–20,0	>20,0
Брестская	83,4	4,8	5,5	1,0	0,4	1,0
Витебская	275,4	11,4	12,2	8,6	6,8	1,0
Гомельская	29,9	1,7	1,9	0,5	0,4	0,1
Гродненская	232,7	9,9	11,6	5,5	6,0	1,5
Минская	322,1	8,3	9,3	5,6	5,6	1,2
Могилевская	144,9	7,9	9,0	2,1	1,5	0,3
Всего по республике	1443,0	9,6	10,9	5,5	5,2	1,2

Таблица 1.19

**Площади дефляционно опасных сельскохозяйственных земель
и их распределение по административным областям Беларуси, %**

Область	Всего дефляционно опасных земель, тыс. га	Дефляция, т/га в год				
		1–3	6–10	8–13	10–12	>15
Брестская	466,2	18,5	31,8	7,0	10,1	4,0
Гомельская	450,9	14,0	40,7	4,6	6,5	3,1
Минская	93,1	1,8	1,7	1,4	2,7	1,1
Всего по республике	1010,2	5,2	11,1	2,0	3,1	1,3

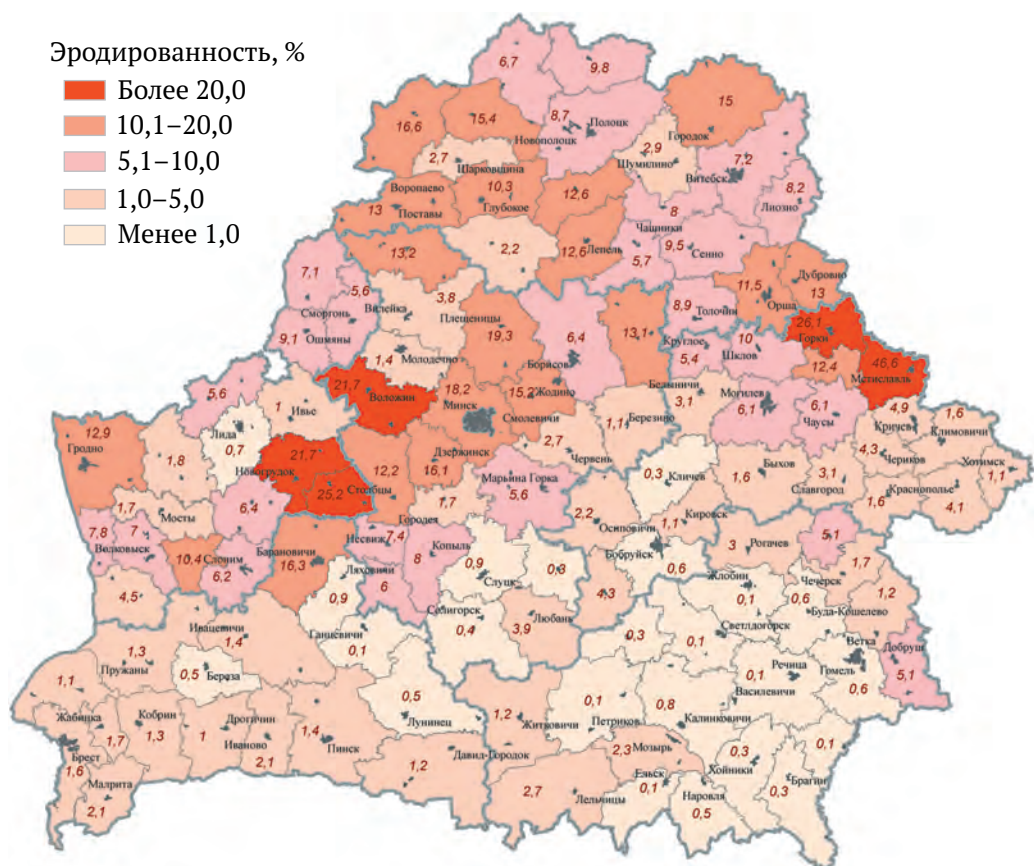


Рис. 1.17. Распределение административных районов по удельному весу эродированных почв в составе пахотных земель

Почвообразующие породы и почвенный покров оказывают существенное влияние на развитие эрозионных процессов и формирование эродированных почв. Интенсивность эрозионных процессов в значительной степени зависит от способности самой почвы противостоять воздействию дождевых капель, водному или воздушному потоку. Почвы, развивающиеся на разных по генезису почвообразующих породах, различаются по потенциальной устойчивости или податливости к эрозии, что в основном связано с их водопроницаемостью.

Исследования по количественной оценке противоэрозионной устойчивости почв на основе данных гранулометрического и валового химического составов, а также расчета коэффициентов фильтрации позволяют ранжировать дерново-подзолистые почвы, сформированные на различных генетических типах почвообразующих пород, по их способности противостоять водно-эрозионным процессам (табл. 1.20).

**Нормативы показателей агрофизических свойств
дерново-подзолистых почв**

Агрофизическое свойство	Значения показателя		
	Оптимальные	Допустимые	Критические
Плотность, г/см ³	1,10–1,30	1,30–150	>1,50
Общая пористость, %	48–60	42–48	<42
Пористость аэрации, %	15–20	10–15	<10
Содержание агрегатов 0,25–10 мм, %	70–85	50–70	<50
Содержание агрегатов более 10 мм, %	20–30	30–50	<50
Содержание водопрочных агрегатов более 0,25 мм, %	40–50	10–40	<10
Наименьшая влагоемкость, % массы	28–30	24–28	<24

Примечание. Составлено на основе: Методика агроэкологической оценки почвенно-ресурсного потенциала эрозионных и заболоченных агроландшафтов северной, центральной и южной провинций Беларуси / Н. Н. Цыбулько [и др.]. Минск, 2019.

Эмпирическая модель RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) является математическим выражением, которое базируется на пяти основных факторах, определяющих интенсивность протекания водно-эрозионных процессов.

Универсальное уравнение эрозии имеет следующий вид:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P,$$

где A – среднегодовые потери почвы, т/га; R – величина учитывающая влияние атмосферных осадков (эрозионный индекс дождей); K – величина эрозионной устойчивости почв; L – длина склона, м; S – уклон; C – величина, учитывающая почвозащитную способность культуры или севооборота; P – коэффициенты почвозащитной способности противоэрозионной меры (способ обработки почвы и др.)¹.

Фактор эродированности почв K зависит от гранулометрического состава почвы, содержания гумуса, структуры, водопроницаемости и каменистости почвы. В оригинальной методике расчета используется принятый в международной практике порог разделения фракций ила и глины в 0,002 мм. Это затрудняет расчеты, поскольку отечественный стандарт разделения элементарных почвенных частиц по Н. А. Качинскому использует другие градации.

¹ Червань А. Н. Картографическое обеспечение управляемого адаптивно-ландшафтного земледелия в агроландшафтах Беларуси. С. 21–29.

По данной причине расчет K -фактора адаптирован для удобства использования принятой классификации:

$$K = (16,67 \cdot 10^{-6} [m_s(100 - m_c)] 1,14(12 - a) + 0,25(b - 2) + 0,193(4 - c))z,$$

где m_s – содержание фракций 0,1–0,001 мм, %; m_c – содержание фракций менее 0,001 мм, %; a – содержание гумуса, %; b – класс структуры почвы; c – класс водопроницаемости почвы; z – коэффициент каменистости и щебнистости почвы¹.

Исходными данными для моделирования и расчета, которые можно представить в виде растровых грид-моделей, являются:

- гипсометрическая карта – цифровая модель рельефа «spline», грид уклона поверхности «uklon»;
- картосхема эрозионного индекса осадков (по данным многолетних метеорологических наблюдений за май – сентябрь) – класс пространственных данных «eros_index», грид «eros_index»;
- картосхема запасов воды в снеге (по данным многолетних метеорологических наблюдений за март) – КПД «zapas_vod», грид «zapas_vod»;
- почвенная карта – КПД «soil», грид «soil_gransostav»;
- картограмма содержания гумуса в почве – КПД «Agrohimia», грид «soil_gumus»;
- таблица В. Е. Водогрецкого – грид «koef_stoka».

Почвы, сформированные на различных почвообразующих породах, по противоэрозионной устойчивости образуют ряд от меньшего к большему: на лессовидных суглинках и лессах < на лессовидных супесях < на водно-ледниковых суглинках < на моренных суглинках < на водно-ледниковых супесях < на моренных супесях < на водно-ледниковых песках < на моренных песках < на древнеаллювиальных песках (табл. 1.21). Одновременно установлено, что противоэрозионная устойчивость почв снижается по мере увеличения степени эродированности.

Таблица 1.21

Группировка почвообразующих пород по их устойчивости к эрозии

Устойчивость	Почвообразующая порода	Коэффициент по гранулометрическому составу	Коэффициент фильтрации, м/сут	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_2} \cdot 10$
Очень низкая	Лессовидные суглинки и лессы	0,20	0,14	1,05
Низкая	Водно-ледниковые суглинки	0,85	0,20	1,62

¹ Технологическая документация на формирование почвозащитных систем земледелия в разных почвенно-эрозионных зонах Беларуси с применением ГИС-технологий / РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НПЦ по земледелию НАН Беларуси. Минск, 2010.

Устойчивость	Почвообразующая порода	Коэффициент по гранулометрическому составу	Коэффициент фильтрации, м/сут	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_2} \cdot 10$
Низкая	Моренные суглинки	1,12	0,26	1,83
Средняя	Моренные супеси	1,97	0,27	1,87
	Водно-ледниковые и древнеаллювиальные супеси	1,56	0,45	1,90
Высокая	Моренные пески	8,34	3,62	2,25
	Водно-ледниковые пески	7,34	2,05	2,60
	Древнеаллювиальные пески	9,63	4,93	3,67

Источник: Методика агроэкологической оценки почвенно-ресурсного потенциала эрозионных и заболоченных агроландшафтов северной, центральной и южной провинций Беларуси / Н. Н. Цыбулько [и др.]. Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2019.

Расчетная модель RUSLE позволяет определить значения потенциального смыва почв под действием ливневых осадков и снеготаяния и выполнить агротехнологическое распределение земель сельскохозяйственного назначения в любой части республики (рис. 1.18).

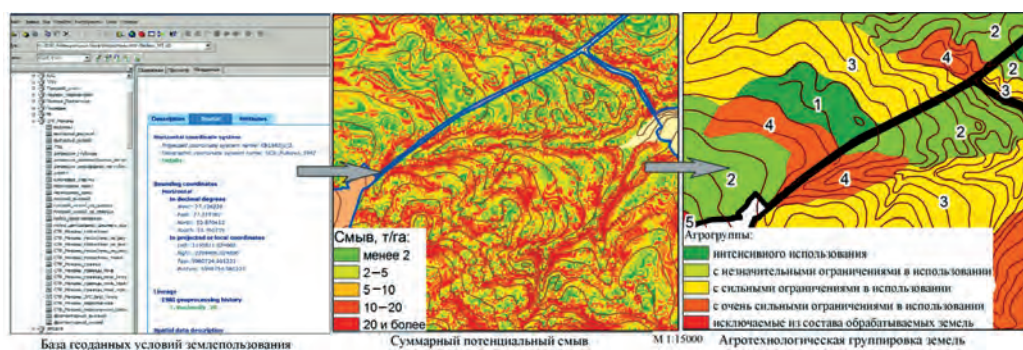


Рис. 1.18. Агротехнологические группы земель (на примере землепользования СПК им. Фрунзе Дзержинского района)

Комплекс расчетных операций проводится в программной геоинформационной среде. Пространственное сочетание растровых поверхностей «soil_gumus», «soil_gransostav», «flowlength», «uklon», «sloy_stoka» обеспечивает получение значения потенциального смыва почвы талыми водами для каждой ячейки выходного растра «smuv_sneg», также впоследствии переклассифицируемого по значениям 0–1, 1–2, 2–5, 5–10, 10–15, 15–20 и более 20 т/га в год.

Аналогично рассчитывается потенциальный смыв почвы, обусловленный ливневыми осадками.

Заключительным этапом после определения суммарного потенциального смыва является выделение агротехнологических групп земель. Основным критерием является величина потенциального смыва почвы, ранжированная на пять групп. Дополнительными факторами являются характеристики пахотного горизонта почв: степень разрушения, запас гумуса, объемная масса и пористость.

В связи с этим объективная диагностика почв, опирающаяся на комплекс количественных параметров, отражающих степень их деградации, а также разработка способов восстановления свойств деградированных почв и минимизация последствий деградации актуальны и имеют важное научное и практическое значение.

Контрольные вопросы

1. Дайте агроклиматическую характеристику почвенно-экологических провинций Беларуси.
2. В чем состоит особенность распространения гидроморфных и полугидроморфных почв?
3. Определите значение почвенного покрова в биоразнообразии территории.
4. Какие картографические приемы используются в моделировании свойств почв?
5. Какие почвенные таксоны целесообразно использовать в базе данных структуры почвенного покрова?
6. Назовите примеры использования ГИС-технологий для целей диагностики почв.
7. Назовите цель и методы почвенно-экологического районирования.
8. Сравните традиционные и цифровые почвенные карты. Перечислите их основные сходства и отличия.
9. Определите параметры картометрического анализа структуры почвенного покрова.
10. Укажите значение оценки неоднородности почвенного покрова в землеустроительной практике.
11. В чем заключается использование геосистем как операциональных единиц природопользования?
12. Назовите особенности учета продуктивной способности элементарных почвенных ареалов и их групп.
13. Приведите примеры кодировки почвенных признаков в земельно-информационной системе и других базах данных.
14. Какие основные виды деградации существуют в почвенном покрове сельскохозяйственных земель Беларуси?
15. Перечислите основные показатели, которые используются при моделировании физической деградации почв.

2. ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОЧВ И СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

2.1. Почвенные базы данных: отечественный и зарубежный опыт

В настоящее время для решения многих задач, в том числе территориального управления, недостаточно использования только геопространственной информации в виде топографических и тематических карт и планов, а требуется наличие баз данных информации о состоянии и фактическом использовании почвенных и земельных ресурсов. Такое комплексное хранение информации делает необходимым применение ГИС-технологий¹. Оптимальной формой интеграции картографической и аналитической информации являются базы пространственных данных, создание и эксплуатация которых обеспечиваются ГИС-технологиями. Трудоемкий процесс формирования специализированных баз данных и материальные затраты окупаются за счет оперативного получения результатов автоматизированного многофакторного анализа в удобной графической форме.

Базы данных почвенных и земельных ресурсов на основе ГИС-технологий должны быть адаптивными и учитывать на единой методической основе многообразие природных и антропогенных лимитирующих факторов землепользования, определяющих экономический эффект и экологические риски. По данной причине методические принципы и технические приемы создания и эксплуатации баз данных почвенно-земельных ресурсов республики с учетом существующих механизмов ведения государственного земельного кадастра и мониторинга земель должны обеспечивать не только инвентаризацию ресурсов, но и учет факторов, позволяющих в оценочном аналитическом блоке осуществлять типовой учет ресурсного потенциала и проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия по закономерно организованным природным особенностям территории².

В основу построения базы данных положены следующие основные принципы: 1) информация должна накапливаться и храниться в единой базе данных, куда поступают сведения из всех возможных источников; 2) передача данных конечным пользователям осуществляется из единой базы данных; 3) в качестве интерфейса конечного пользователя должна выступать авто-

¹ Курлович Д. М., Жуковская Н. В., Ковалевская О. М. ГИС-технологии : учеб.-метод. пособие / БГУ, фак. географии и геоинформатики, каф. почвоведения и ГИС. Минск, 2020 ; Jensen J. R., Jensen R. R. Introductory Geographic Information Systems. Boston, 2013.

² Кирюшин В. И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М., 2011.

материализованная информационная система; 4) инструментарии для ввода, преобразования и анализа данных обращаются непосредственно в единый блок геообработки с сохранением в ней результатов работ; 5) ключевым объектом управления должен выступать земельный участок.

При построении логической модели и физической реализации атрибутивной части выполняются следующие общие требования:

- охват всех объектов, попадающих в область исследования в соответствии с целью создания базы данных и учет всех выявленных связей между ними;

- расширяемость и легкий перенос в разные операционные среды для обеспечения взаимодействия информационных потоков отраслевого и территориального характера и интегрируемости информации различных уровней управления почвенными и земельными ресурсами;

- обеспечение доступности и наглядности данных для пользователей: состав, выборка данных по заданию поисковых признаков, отображение в цифровом и графическом виде, а также визуализация с привязкой к картографическим объектам.

Использование баз геоданных и модулей геообработки в едином информационном пространстве не только увеличивает точность и автоматизирует инвентаризационные и оценочные работы, но и способствует актуализации сведений об агроэкологическом состоянии почвенного покрова землепользований.

Основу почвенной базы геоданных (рис. 2.1) составляет информация разномасштабных (М 1 : 2000 – 1 : 500 000) почвенных карт, материалов агрохимического и радиологического обследования почв сельскохозяйственных земель, государственного земельного кадастра, распределенная по географическим границам выбранных типичных административных районов и базовых сельскохозяйственных организаций с учетом физико-географических условий местности¹ и применением ДДЗ², вплоть до уровня конкретного рабочего участка.

Наборы классов базы данных разделяются на три группы:

- 1) первичные аналитические или измеренные данные (границы АТЕ, таксономических единиц почвенного покрова, землепользователей и видов земель, топографическая информация);

- 2) инвентаризованная и интерпретированная информация (структура землепользования с учетом агрохимического состояния почв, распределение производительной способности почв, применяемая система земледелия);

¹ Цифровая базовая картографическая модель местности : руководство по созданию : утв. Комитетом по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Респ. Беларусь : от 1 октября 2002 г. № 144.

² GIS-Lab. Географические информационные системы и дистанционное зондирование. URL: <https://gis-lab.info/> (дата обращения: 22.07.2024).

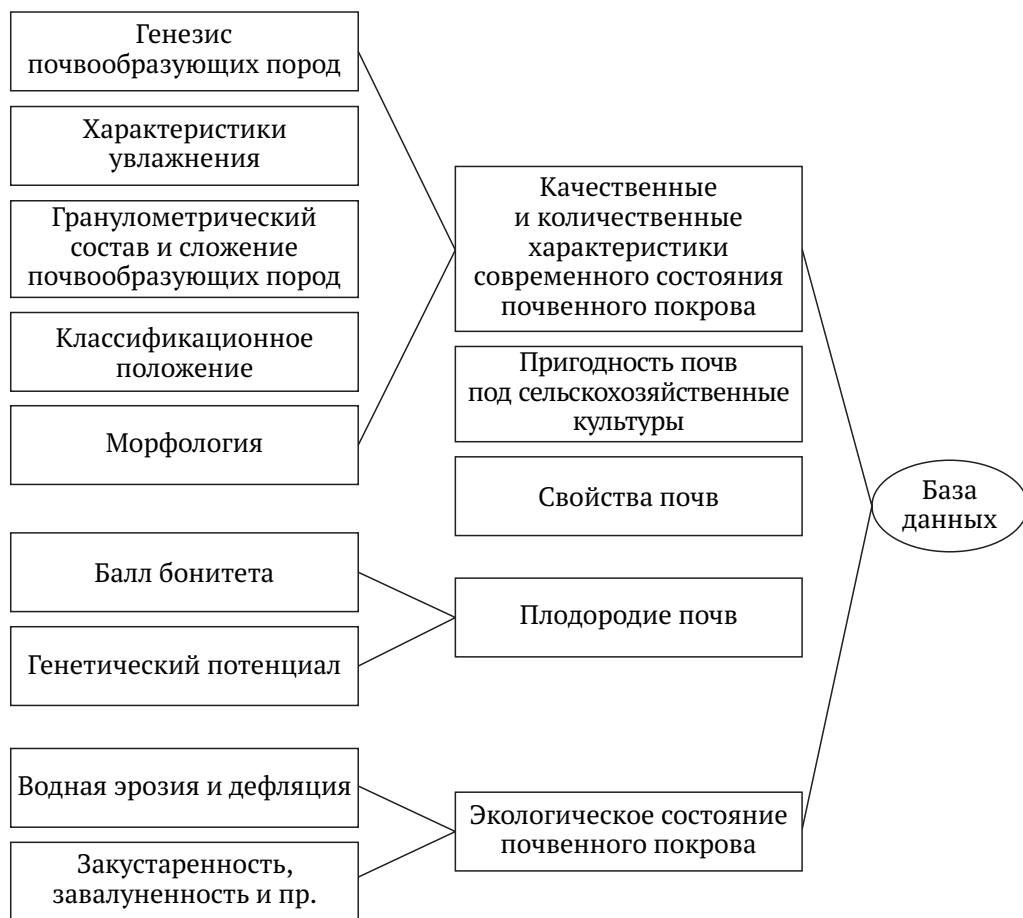


Рис. 2.1. Основные источники почвенной базы геоданных

3) данные, полученные в ходе выполнения операций геообработки с целью их анализа и моделирования (ПРП, геосистемная приуроченность земель, риск проявления разных видов деградации, определение территорий первоочередного мониторинга).

Информационно-аналитическая база почвенных данных располагает следующими функциями хранения и анализа информации:

- географическая база данных для хранения и управления всеми пространственными объектами, характеризующими почвенный покров территорий на разных административных уровнях;
- инвентаризация данных с алгоритмами геообработки¹;
- формирование информационных запросов к атрибутивным данным;

¹ Курлович Д. М. ГИС-анализ и моделирование : учеб.-метод. пособие. Минск, 2018 ; Xiao N. GIS Algorithms: Theory and Applications for Geographic Information Science & Technology. GIS Algorithms. 1 Oliver's Yard, 55 City Road London EC1Y 1SP : SAGE Publications, 2016.

- пространственный анализ и обработка геоданных;
- создание картографических продуктов на исследуемую территорию;
- визуализация и исследование (дешифрирование) растровых изображений при необходимости.

Векторные и растровые пространственные классы данных являются основными форматами хранения в базе данных. Векторные объекты хорошо подходят для представления объектов с выраженными границами. Классы пространственных объектов являются коллекциями объектов одного типа с общим пространственным представлением и набором атрибутов (например, классы родов или разновидностей почвенного покрова). Растры используются для представления непрерывных слоев: высот местности, уклонов и экспозиции склонов, растительного покрова, полей количества выпадающих осадков в среднем за многолетний период, зон радиоактивного загрязнения. В структуре базы данных предусматриваются наборы растровых классов данных аэрофото- и космических снимков исследуемой территории, дифференцированные по показателям пространственного разрешения и наличия ортотрансформации изображений.

Топологическая (распространение) и типологическая (атрибутивная) информация ЦПК в ходе идентификации ПК является приоритетной. Почвенные комбинации СПП, системно объединяющие показатели естественного потенциала почвенно-земельных ресурсов со значениями их агроэкологического состояния, также представлены в структуре базы данных отдельными пространственными слоями.

Структура базы данных объединяет цифровую информацию о ПРП земель республики с учетом распределения факторов производительной способности почв. Алгоритмы построения классов пространственных данных создаются на основе результатов топологической оценки агроэкологического состояния почв и почвенного покрова. Базы данных также формируются средствами ГИС-технологий в программной среде ArcInfo одновременно с географическим распространением кодифицируемых объектов, что позволяет автоматизированно учесть их качественные и количественные атрибуты. Пространственные слои инвентаризованных объектов проецируются в единую систему координат проекции Гаусса – Крюгера, а пространственная привязка к местности осуществляется по твердым контурам либо при помощи уже спроецированных слоев данных.

Структура базы геоданных предусматривает ресурсный, факторный и оценочный информационные блоки. Совокупный пространственный анализ объектов всех блоков обеспечивает выполнение статистико-картометрических и функционально-генетических анализов на этапе эксплуатации (рис. 2.2). Это позволяет в дальнейшем обосновать нормативные требования к использованию и охране почвенно-земельных ресурсов по качественным и количественным атрибутам почв и почвенных комбинаций в агроландшафтах и на сопредельной территории.



Рис. 2.2. Эксплуатация почвенной базы геоданных

Основу структуры составляет информация разномасштабных (М 1 : 2000 – 1 : 500 000) почвенных карт, материалов агрохимического обследования сельскохозяйственных земель областных проектных станций по химизации сельского хозяйства, государственного земельного кадастра, распределенная по геореференсированным границам типовых административных районов и сельскохозяйственных организаций с учетом физико-географических условий местности. Наиболее актуальные данные инвентаризации почвенно-земельных ресурсов, вплоть до уровня конкретного рабочего участка, обеспечиваются посредством применения ДДЗ¹. Отдельные данные ЗИС, являющейся одной из форм существования подсистемы мониторинга земельных ресурсов республики², генерализуются и внедряются в процесс геообработки в качестве инфор-

¹ Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. М., 2010.

² Земельно-информационная система Республики Беларусь. Порядок эксплуатации : ТКП. Введ. 10.08.05. № 141. Минск : Ком. зем. ресурсов, геодезии и картографии, 2005.

мации о фактическом использовании земель типовых районов почвенно-экологических провинций.

Наиболее острая проблема в технологии формирования баз данных заключается в поиске и использовании идентификаторов (кодов опознавания индивидуумов). Они обеспечивают унификацию, стандартизацию и идентификацию вводимой и извлекаемой из базы данных почвенной и факторной информации. От решения проблемы идентификации (опознания) почвенных и земельных признаков зависит обретение базой инвентаризации таких важных свойств, как совместимость ее с другими источниками данных, универсальность технологии формирования и стандартизация вывода информации для пользователя. Целесообразно использовать три идентификатора, каждый из которых способен учитывать признаки и характеристики почвенно-земельных ресурсов в любом масштабе, независимо от территориальной или ведомственной принадлежности. Это почвенный контур, граница земельного участка и граница ПК (типа земель).

База геоданных является реляционной, т. е. представляет собой совокупность связанных данных, хранящихся в виде двумерных таблиц. Все поля атрибутивной таблицы каждого пространственного слоя должны иметь имена, уникальные в пределах данной таблицы. Тип данных для каждого поля фиксирован – он может быть символьным, строковым, числовым, полем даты, изображения, видеозаписи или другим. Записи атрибутивных таблиц имен не имеют и могут располагаться в произвольном порядке: идентификация в базе данных обеспечивается при помощи первичных (обязательных) и вторичных ключей¹. Используемые идентификаторы (почвенный ареал, почвенные комбинации, земельный участок) применяются в качестве основных записей ресурсного тематического блока инвентаризации. Пример цифрового описания почвенно-земельных ресурсов с указанием формата полей учитываемых данных приведен в табл. 2.1. Коды генезиса и гранулометрического (ботанического) состава почвообразующих пород, увлажненности и эродированности, а также мелиоративного состояния почв используются согласно актуальной практике ЦПК. Стоит отметить, что масштаб первичной инвентаризации отмечается в названии пространственного слоя.

База геоданных почвенных и земельных ресурсов, как правило, предусматривает следующие тематические информационные блоки:

- **общий** – учитывает границы единиц административно-территориального деления как частей почвенно-экологического районирования, хозяйственно-функционального зонирования субъектов хозяйствования;
- **ресурсный** – содержит информационные слои почвенных разновидностей, видов и типов земель, групп почв и их комбинаций, растительности, болот (рис. 2.3);

¹ Bolstad P. GIS fundamentals: a first text on geographic information systems. GIS fundamentals. Acton, MA White Bear Lake, Minnesota : XanEdu, 2016.

-

80

Оценочный тематический блок базы данных для разработки АЛСЗ включает следующие показатели.

1. Оценка почвенно-агрохимического потенциала:

- бонитет почвенных разновидностей по рабочим участкам;
- кислотность почв в пределах элементарных почвенных ареалов;
- содержание подвижных форм фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) по материалам агрохимического мониторинга элементарных участков;
- содержание обменных оснований (Ca, Mg) по материалам агрохимического мониторинга элементарных участков;
- содержание гумуса для минеральных почв и мощности торфа для органогенных почв.

2. Оценка культуртехнического состояния сельскохозяйственных земель:

- тип и вид земель по данным земельно-кадастрового учета (древесно-кустарниковая растительность – 1, естественные луговые земли – 2, улучшенные луговые земли – 4, пахотные – 5);
- доля древесно-кустарниковой растительности в границах рабочих участков землепользования по ДДЗ (более 50 % – 1, 20–50 % – 3, менее 20 % – 5);
- агрономическая ценность гранулометрического состава элементарных почвенных ареалов (рыхло- и связнопесчаные и тяжелосуглинистые – 1, рыхлосупесчаные, в том числе аллювиальные, – 2, связносупесчаные, в том числе аллювиальные, – 3, легкосуглинистые – 4, органогенные – 5);
- агрономическая ценность степени увлажнения элементарных почвенных ареалов (автоморфные – 1, переувлажненные без регулирования водного режима – 2, глеевые – 3, глееватые – 4, временно избыточно увлажненные, глеевые и органогенные с регулированием водного режима – 5);
- мелиоративное состояние рабочих участков с учетом вида гидротехнического регулирования водного режима в мелиоративной системе (вне мелиоративных систем – 2, открытый дренаж – 3, двустороннее регулирование водного режима – 4).

3. Оценка целесообразности интенсификации сельскохозяйственного производства:

- территориальная приуроченность к почвенной комбинации;
- номер оценочной группы по результатам учета почвенно-агрохимического потенциала;
- номер оценочной группы по результатам учета культуртехнического состояния сельскохозяйственных земель;
- балл кадастровой оценки по рабочим участкам;
- уровень нормативного дохода по рабочим участкам.

Таблица 2.1

Фрагмент цифрового описания почвенно-земельных ресурсов в базе данных

Слой	Поле	Описание поля	Примечание	Информация для кодировки
Геосистемы_10000_ («район») _ («СПК») Геосистемы_50000_ («район»)	Индекс_ПК	String_20	Индекс геосистемы или переходной зоны (например, 3213+2126тн)	Геосистемы_индекс.xls
	Тип_ПК	SmallInteger_2	Тип почвенной комбинации	Геосистемы_тип.xls
	ДП	SmallInteger_2	Доля дерново-подзолистых автоморфных почв	0–100
	ДПБ1	SmallInteger_2	Доля дерново-подзолистых временно избыточно увлажненных почв	0–100
	ДПБ2	SmallInteger_2	Доля дерново-подзолистых глееватых почв	0–100
	ДПБ3	SmallInteger_2	Доля дерново-подзолистых глеевых почв	0–100
	ДПБ_ИГ	SmallInteger_2	Доля дерново-подзолистых заболоченных почв с иллювиально-гумусовым горизонтом	0–100
	ДБ1	SmallInteger_2	Доля дерновых временно избыточно увлажненных почв	0–100
	ДБ2	SmallInteger_2	Доля дерновых глееватых почв	0–100
	ДБ3	SmallInteger_2	Доля дерновых глеевых почв	0–100
	ТВ	SmallInteger_2	Доля торфяно-болотных верховых почв	0–100
	ТП	SmallInteger_2	Доля торфяно-болотных низинных почв	0–100
	ТН	SmallInteger_2	Доля торфяно-болотных низинных почв	0–100
	АДБ	SmallInteger_2	Доля пойменных дерновых почв	0–100
	АД_ИЛ_Б	SmallInteger_2	Доля пойменных иловато-болотных почв	0–100
	АТН	SmallInteger_2	Доля пойменных торфяно-болотных почв	0–100
	Примечание	String_40	Название водного объекта или др.	–

Земли_10000_ («район»)	Тип	Integer_4	Тип земель	Земли_тип.xls
	Вид	Integer_4	Вид земель	Земли_вид.xls
	Год	Date	Год обследования или создания информационного слоя	01.01.1950–01.01.2050
Почвы_500000_РБ Почвы_50000 («район») Почвы_10000 («СПК»)	Почва	String_15	Одна почва или комбинация почв согласно авторской карте	–
	Описание	String_200	Название почвы согласно авторской почвенной карте	–
	Kod1_1	Integer_4	Первый знак кода первой почвы (классификационная принадлежность)	Почвы_Kod1(2,3)_1.doc
	Kod1_2	Integer_4	Второй знак кода первой почвы (генезис)	Почвы_Kod1(2,3)_2.xls
	Kod1_3	Integer_4	Третий знак кода первой почвы (гранулометрический состав)	Почвы_Kod1(2,3)_3.xls
	Kod1_4	Integer_4	Четвертый знак кода первой почвы (подстиление)	Почвы_Kod1(2,3)_4.xls
	Part1	SmallInteger_2	Доля первой (доминирующей по площади) почвы (процент)	0–100
	Kod2_1	Integer_4	Первый знак кода второй почвы (классификационное место)	Почвы_Kod1(2,3)_1.doc
	Kod_eros	SmallInteger_2	Код условного знака эрозии	Почвы_Kod_eros.xls
	Kod_uvlj	SmallInteger_2	Код условного знака увлажнения	Почвы_Kod_uvlaj.xls

Каждый показатель трех видов оценок ранжируется по пяти оценочным группам методом классификации «естественные границы» в ГИС. При этом следует отметить, что почвенно-агрохимический потенциал учитывается при помощи РМД, а культуртехническое состояние сельскохозяйственных земель и целесообразность интенсификации землепользования – векторной модели. Для этого используются методы растрово-векторной трансформации пространственных данных с заданной размерностью ячеек грид-модели¹.

Проектирование АЛСЗ на уровне отдельного агроландшафта в тестовых организациях предусматривает работы по геоинформационной инвентаризации почвенных, агрохимических и земельно-кадастровых условий землепользования с целью оценки условий каждой из основных в Беларуси 16 возделываемых сельскохозяйственных культур. Качественное распределение показателей на территории агроландшафта моделируется методами сплайна и обратных взвешенных расстояний на основе крупномасштабной ЦПК и актуальных результатов агрохимического мониторинга, геостатистически откалиброванных по результатам пространственного анализа проб почвы по элементарным участкам.

С большинством атрибутивных таблиц указанных классов данных связаны таблицы-справочники, выполняющие как минимум две функции. Во-первых, они позволяют корректно решить проблему наличия большого количества пользователей базы данных: право модификации справочника получает ограниченный круг лиц, а значит, количество ошибок и неточностей, связанных с такой модификацией, значительно уменьшается. Во-вторых, таблицы-справочники избавляют пользователей от необходимости вводить в нее большое количество данных с клавиатуры, предоставляя возможность выбирать нужные сведения из заранее подготовленных списков. Это не только делает работу рядового пользователя значительно комфортнее, но и служит дополнительной защитой от неточностей, связанных с применением различными пользователями разной терминологии при описании одних и тех же характеристик почвенно-земельных ресурсов.

Цифровое описание критериев инвентаризации и оценка факторов и условий использования земель получают отражение в виде полей атрибутивных таблиц и соответствующих им программных доменов. Например, цифровое описание почвенного покрова включает критерии ГИС-учета как его состава (таксонов почвы), так и структуры (почвенные комбинации разного ранга и типов земель, рис. 2.4).

Коды генезиса и гранулометрического (ботанического) состава почвообразующих пород, увлаженности и эродированности, а также мелиоративного состояния почв используются согласно актуальной практике ЦПК (табл. 2.2)².

¹ Савин И. Ю. Анализ почвенных ресурсов на основе геоинформационных технологий : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. М., 2004.

² Клебанович Н. В., Сазонов А. А., Червань А. Н. Почвенное ГИС-картографирование : практикум для студентов фак. географии и геоинформатики. Минск, 2019.

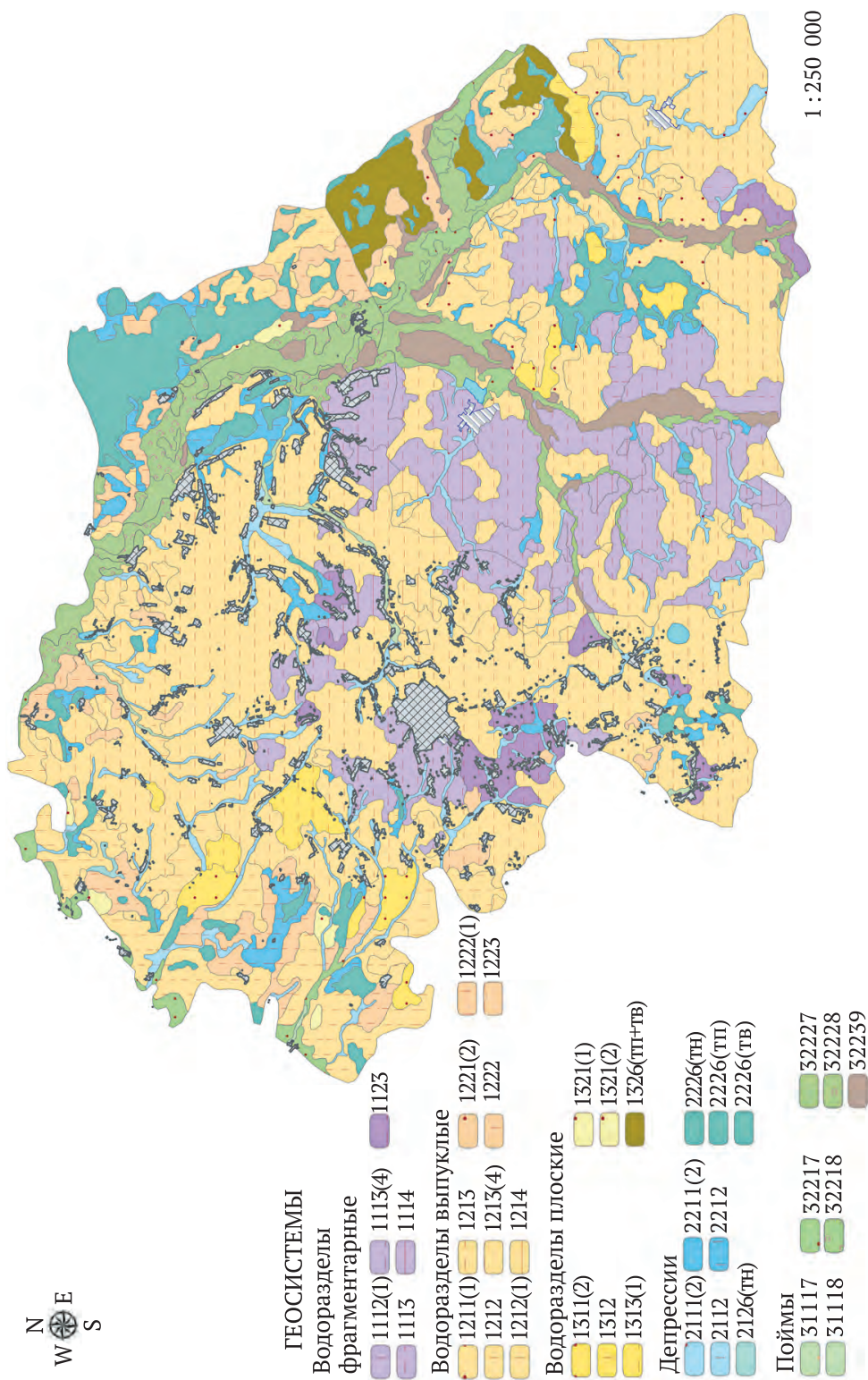


Рис. 2.4. Фрагмент карты структуры почвенного покрова (типы земель) по данным геосистемной инвентаризации в М 1 : 50 000

Таблица 2.2

**Распределение почв в базе данных (кодировка приводится
согласно номенклатурному списку почв Беларуси)**

Группы почв	Первый знак (Kod 1_1)	Третий знак (Kod 1_3)
Минеральные	001–021, 025–026, 027–057, 062–065, 071–076, 082–133, 149–245, 276–303	01–08
	307	09
	309–311, 313–315, 317–319, 321–323, 325–327, 329–331, 333–335, 337–339, 341–343, 345–347, 349–351, 353–355, 357–359, 361–363, 365–367	21–37
	385–388, 391–393, 401, 405–412, 413, 414–419, 421–438, 442–444, 456–459, 474–476, 478–483, 491	01–08
Торфяные и торфяно-минеральные	140–143, 246–275, 308, 312, 316, 320, 324, 328, 332, 336, 340, 344, 348, 352, 356, 360, 364, 371–373	21–37
	374–376	10–12
	396–400, 402–404	21–37
	413	09–12, 21–37
	420–421	21–37
	422–438	10–12, 21–37
	439	10–12
	440–441, 445–447	21–37
	477	10–12
	479–481	10–12, 21–37
	484–487	21–37
	488	10 – 12
	460–463	21–37
Аллювиальные и постторфяные	377–384, 388–389, 464, 477, 489, 490	01–08

В информационно-аналитической базе данных предусматривается кодировка следующих показателей:

- агрохимические (pH_{KCl} ; насыщенность основаниями, %; содержание P_2O_5 , K_2O , MgO , CaO , мг/кг; содержание гумуса, %; индекс окультуренности);
- агрофизические (плотность пахотного слоя и подпахотного слоя (A_1A_2/A_2), г/см³; порозность пахотного слоя и подпахотного слоя, %; содержание водопрочных агрегатов, %; мощность пахотного слоя, см);
- картометрические (коэффициенты сложности (расчлененности), контрастности и неоднородности СПП);

- химические (содержание водорастворимых F, Cu, Ni, Zn, Co, подвижных F, Cr, Sb, Mn, V, Pb, As, Hg, Cd).

В базе геоданных для каждого диапазона значений показателей прописывается информационный домен, позволяющий автоматизировать процесс определения интегральной антропогенной нагрузки не только на отдельную почву или обрабатываемый участок, но и на всю ПК. Это позволяет оценить степень антропогенной нагрузки и преобразованность природных систем и разрабатывать алгоритмы оптимизации землепользования в агроландшафтах на основе естественной устойчивости ПК. Для этого на агроландшафтах выполняются геосистемная инвентаризация СПП землепользования и качественный учет фактического использования земель.

Структура баз геоданных почв разного генезиса и гранулометрического состава соответствует территориальной иерархичности оцениваемых единиц (от типа почвы к категории земель через ПК). Особое место отводится состоянию ПК, выраженному в условных баллах и одновременно характеризующему и внешнее воздействие, и естественную предрасположенность для его влияния (табл. 2.3).

Таблица 2.3

**Принципы оценки
современного экологического состояния
почвенно-земельных ресурсов**

Единица оценки	Определение границ и характеристика	Оценка	Показатели состояния
Почвенно-экологическая провинция			
Почвенно-экологический район / административный район			
Хозяйственно-функциональная зона	Земельный кадастр	Агроэкологическая (% территории, га)	Площадь, площадь соседних категорий
Агроландшафт			
Почвенная комбинация (тип земель)	Геосистемная типология земель	Интегральная (условный балл)	Формула ПК, коэффициент неоднородности
Тип почвы	Почвенно-картографический материал	Устойчивость по видам воздействия (условный балл)	Запас гумуса, емкость катионного обмена и др.

В качестве таблиц-справочников дополнительно предусмотрен учет данных актуального тура кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения, шкалы оценочных баллов почв под различные сельскохозяйственные культуры, методические приемы оценки неоднородности

почвенного покрова с использованием шкалы контрастности почв и коэффициентов расчлененности почвенного покрова, ежегодные отчеты сельскохозяйственных организаций о результатах деятельности¹.

Технологическая схема работ по цифровому учету почвенно-земельных ресурсов на любом масштабном уровне включает создание слоев пространственных данных естественных условий местности, факторов, детерминирующих любой вид хозяйственной деятельности, а также общих и вспомогательных слоев. В каждом районе подбираются типовые хозяйства, выступающие первичными производственными единицами последующей оценки инвентаризованных данных в аспекте дифференциации систем земледелия, мер оптимизации использования и охраны земель (рис. 2.5)².

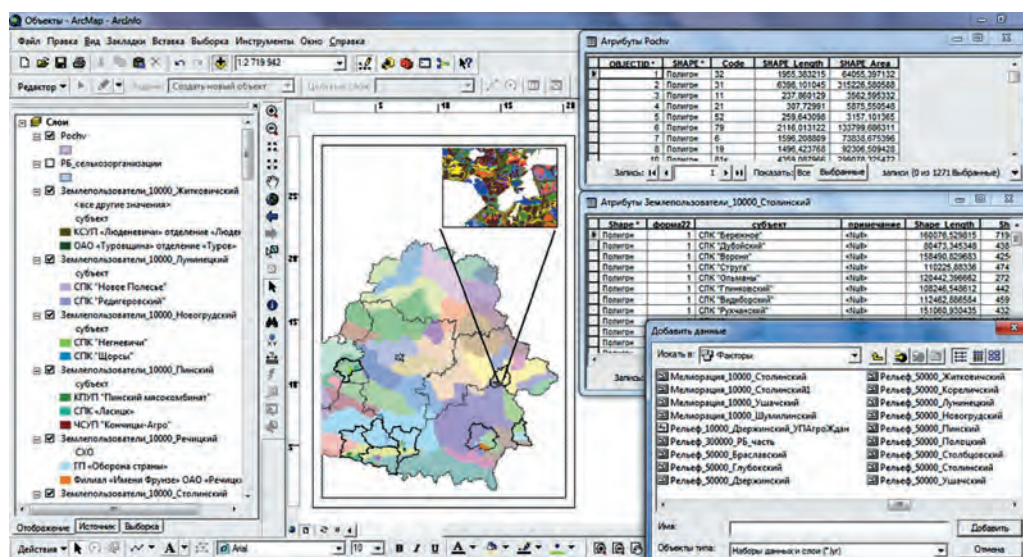


Рис. 2.5. Базовые территориальные объекты инвентаризации и оценки агроэкологического состояния почвенно-земельных ресурсов

Современный уровень развития средств геообработки в ГИС-среде позволяет программно формализовать (кодировать) отдельные этапы разработки типовых схем оптимизации землепользования. Это актуально при необходимости кросс-слойного анализа данных на примере

¹ Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика / Г. М. Мороз [и др.]; под ред. Г. М. Мороза и В. В. Лапы. Минск, 2017; Пригодность почв Республики Беларусь для возделывания отдельных сельскохозяйственных культур: рекомендации / В. В. Лапа [и др.]. Минск, 2011.

² Система оценки устойчивости агроландшафтов для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов / Н. П. Масютенко [и др.]. Курск, 2013.

почвенного покрова земель базовых сельскохозяйственных организаций, при котором каждый фактор землепользования имеет свой поправочный коэффициент.

В ходе геоинформационного описания отдельно создается слой СПП по ПК, поскольку содержит одновременно данные о естественном и перспективном хозяйственном потенциале использования земель. Информация для заполнения того или иного атрибутивного поля представлена в доменах по каждому тематическому блоку. Например, в блоке «ресурсы» имеют место домены, определяющие цифровое описание кодов почвенных разновидностей, кодов степени увлажнения и эродированности почв, типов и видов земель, типов болот; типов, видов и разновидностей геоботанических единиц.

Единая проекция и пространственная привязка в базе данных почвенно-земельных ресурсов необходимы для топологически корректного многофакторного анализа территориально распределенных факторов использования сельскохозяйственных земель. Также применяется единая сетка трансформирования (геокодирования) векторной и растровой информации, осуществляется проверка топологии с помощью встроенных модулей обработки информации (рис. 2.6). Отдельные топологические правила разрабатываются дополнительно, как, например, формирование определенных типов севооборота на загрязненных радионуклидами рабочих участках или планирование системы обработки почв на эрозионно опасных, в том числе эродированных, землях.

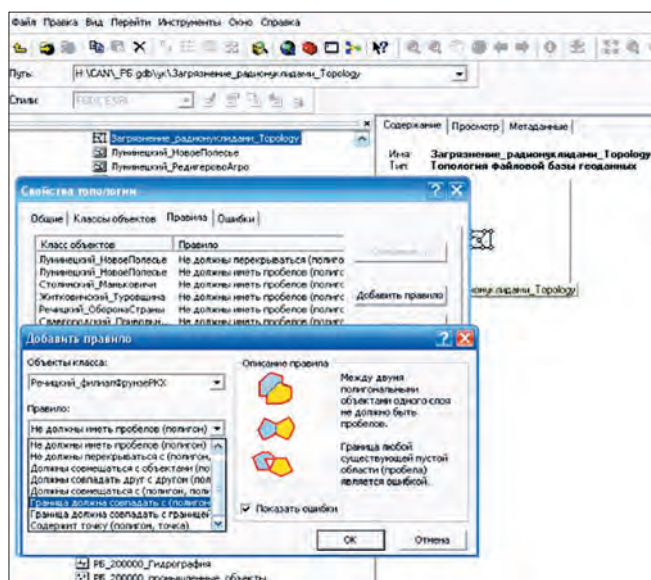


Рис. 2.6. Формирование топологических правил в базе геоданных

Структура баз геоданных в ГИС-среде должна предусматривать использование следующих геоинформационных приемов: векторизация и растеризация (сплайн, кригинг) данных, автоматизированная переклассификация, заменяющая применявшиеся ранее многомерные методы кластер-анализа СПП, калькулятор растров, геостатистические методы обработки данных.

Сформированная структура геоинформационной системы предусматривает в дальнейшем автоматизированную дифференциацию систем земледелия в зависимости от местных почвенных, агрохимических, радиологических или производственных условий хозяйствования. Это в первую очередь касается сложных условий землепользования, к которым относятся повышенная степень эрозионной опасности агроландшафта, наличие загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных земель, сложная СПП, проявляющаяся в значительной неоднородности почв по генезису и гранулометрическому составу почвообразующих пород.

На этапе эксплуатации предусмотрена обработка данных на следующих уровнях: первичный (элементарный и рабочий участки), локальный (поля севооборота), местный (агроландшафт, сельскохозяйственная организация), районный (почвенно-экологический район, район согласно административно-территориальному устройству), региональный (природный регион, область республики), республиканский. Структура базы едина для всех уровней хозяйствования (рис. 2.7): от конкретного рабочего участка до республиканского изменяется лишь количество объектно ориентированных записей в атрибутивных таблицах, используемых в технологических алгоритмах обработки информации.

База геоданных почвенно-земельных ресурсов предусматривает классы не только статичных, устойчивых во времени данных, но и динамично изменяющихся, связанных как с естественными процессами (наличие явлений полураспада и динамики радионуклидов, эрозионное изменение почвенного покрова агроландшафтов), так и с рыночными отношениями в области недвижимого имущества¹. Последние могут быть вызваны изменением землепользователя, условий хозяйствования, установлением новых ограничений в использовании земель (прибрежных полос водных объектов, водоохраных зон водных объектов, охранных зон коммуникаций и др.), зон особого государственного регулирования.

В свою очередь, неоднородность почвенного покрова в масштабе обрабатываемых сельскохозяйственных земель выражена прежде всего литологическими, геоморфологическими и ценоотическими факторами.

¹ Провести исследования и подготовить Методические рекомендации и формы документов для разработки схем землеустройства районов : отчет о НИР (заключ.) / РУП «БелНИЦзем». Минск, 2008. № ГР 20083431.

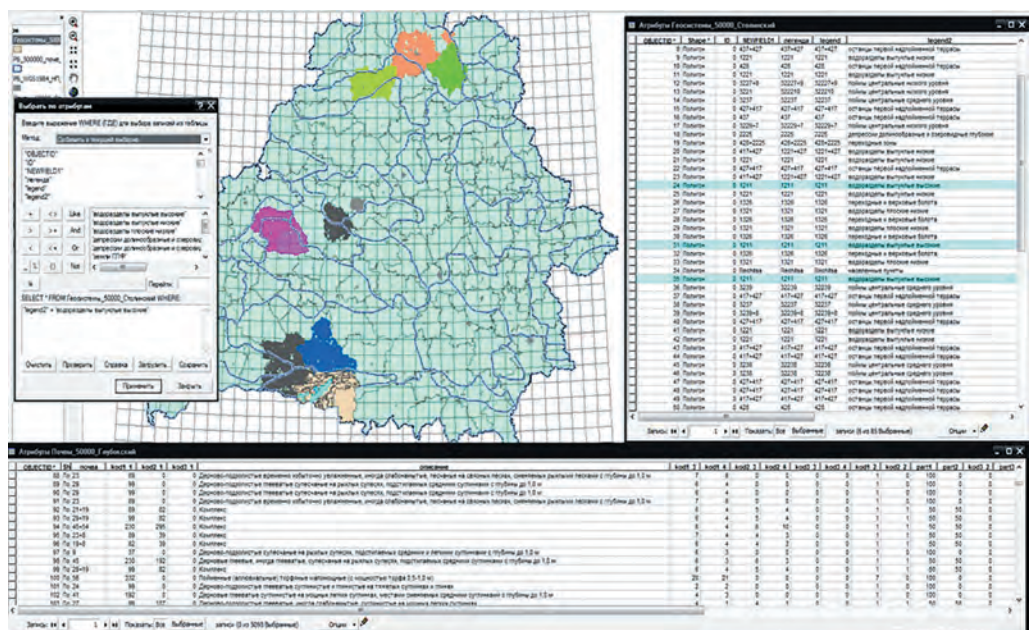


Рис. 2.7. Технологическая схема оценки факторов землепользования в базе геоданных

По данной причине важной задачей эксплуатации базы данных является выделение так называемых *management units* – территориальных единиц с подобными параметрами пространственной неоднородности, где должны применяться однотипные технологии землепользования. В Беларуси в условиях проведенных туров почвенных обследований с составлением крупномасштабных почвенных карт территории каждого административного района и сельскохозяйственной организации действует методика идентификации почвенных комбинаций по комплексу естественных условий почвообразования, которые могут выступать в качестве агроэкологических типов земель, а в случае автоматизированной обработки – в качестве операциональных единиц. По рисунку СПП и по формуле почвенной комбинации оцениваются интегральные показатели факторов хозяйствования, в первую очередь неоднородность СПП. Кроме того, оценка агроэкологического состояния земель сельскохозяйственного назначения и их типология на территории сельскохозяйственных организаций выполняется при помощи ГИС-технологий по почвенным микрокомбинациям с учетом гранулометрического состава и литологии почвообразующих пород, степени увлажнения и эродированности почв, а также других факторов.

Геосистемная типизация обеспечивает возможность сравнения базовых территорий на основе анализа их внутренней структуры, системно учитывает достаточно полную информацию о комплексе природных факторов землепользования. Пространственный координатный метод

оптимизации землепользования по результатам оценки нормируемых агротехногенных нагрузок на типы земель и учета агроэкологического состояния почвенных комбинаций позволяет качественно дифференцировать системы земледелия и непосредственно подойти к разработке АЛСЗ на территории сельскохозяйственных организаций с наличием специфических лимитирующих факторов эффективного использования сельскохозяйственных земель¹.

Оценку соответствия проводят по земельно-кадастровым данным, информации ЗИС, результатам кадастровой оценки, материалам почвенных и агрохимических обследований земель сельскохозяйственного назначения. Основными показателями при этом являются показатели качества почвы, бонитет почв в составе почвенных комбинаций, вид или характер использования земель, агроэкологическая устойчивость почвенных комбинаций.

Критериями агроэкологической емкости типов земель в числе прочих являются²:

- плодородие почв с точки зрения возможностей их интенсивного (пахотного) использования (баллы принятой в Беларуси оценочной шкалы);
- показатели радиоактивного загрязнения земель;
- формула почвенной комбинации;
- наличие ограничений землепользования;
- степень неоднородности почвенного покрова;
- кадастровая оценка землепользования.

Выбор данных показателей обусловлен тем, что они в большей степени снижают возможность интенсивности сельскохозяйственного производства, а также тем, что их количественная оценка с высокой достоверностью может быть считана с крупномасштабных почвенных карт либо путем геопространственного статистического анализа в базе геоданных почвенно-земельных ресурсов агроландшафтов. Полевые изыскания со взятием почвенных проб должны учитывать геохимическое положение рабочих участков, их координация может основываться на ДДЗ территории агроландшафтов (рис. 2.8).

Картометрический анализ соответствия уровня техногенной нагрузки и агроэкологической оценки почвенных комбинаций при помощи ГИС-технологий выполняется в базе данных по материалам агрохимического обследования земель в границах рабочих и элементарных участков на схемах землепользования (рис. 2.9).

¹ Система оценки устойчивости агроландшафтов для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов.

² Система оценки экологической емкости агроландшафтов для формирования экологически устойчивых агроландшафтов / Н. П. Масютенко [и др.]. Курск, 2011.

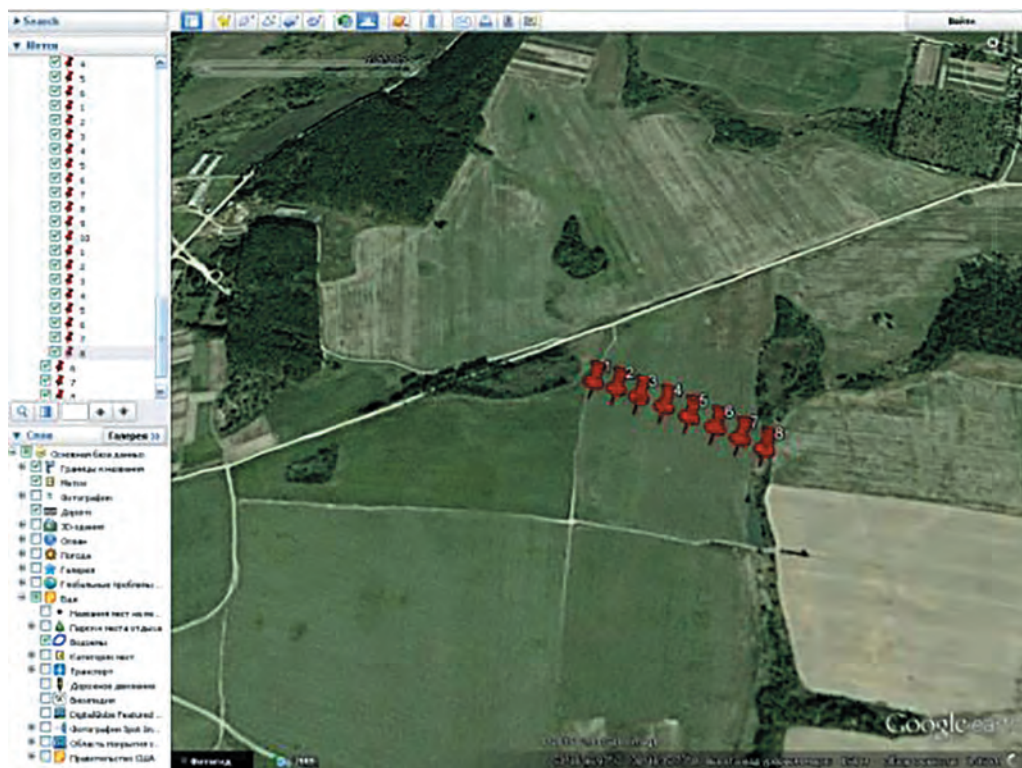
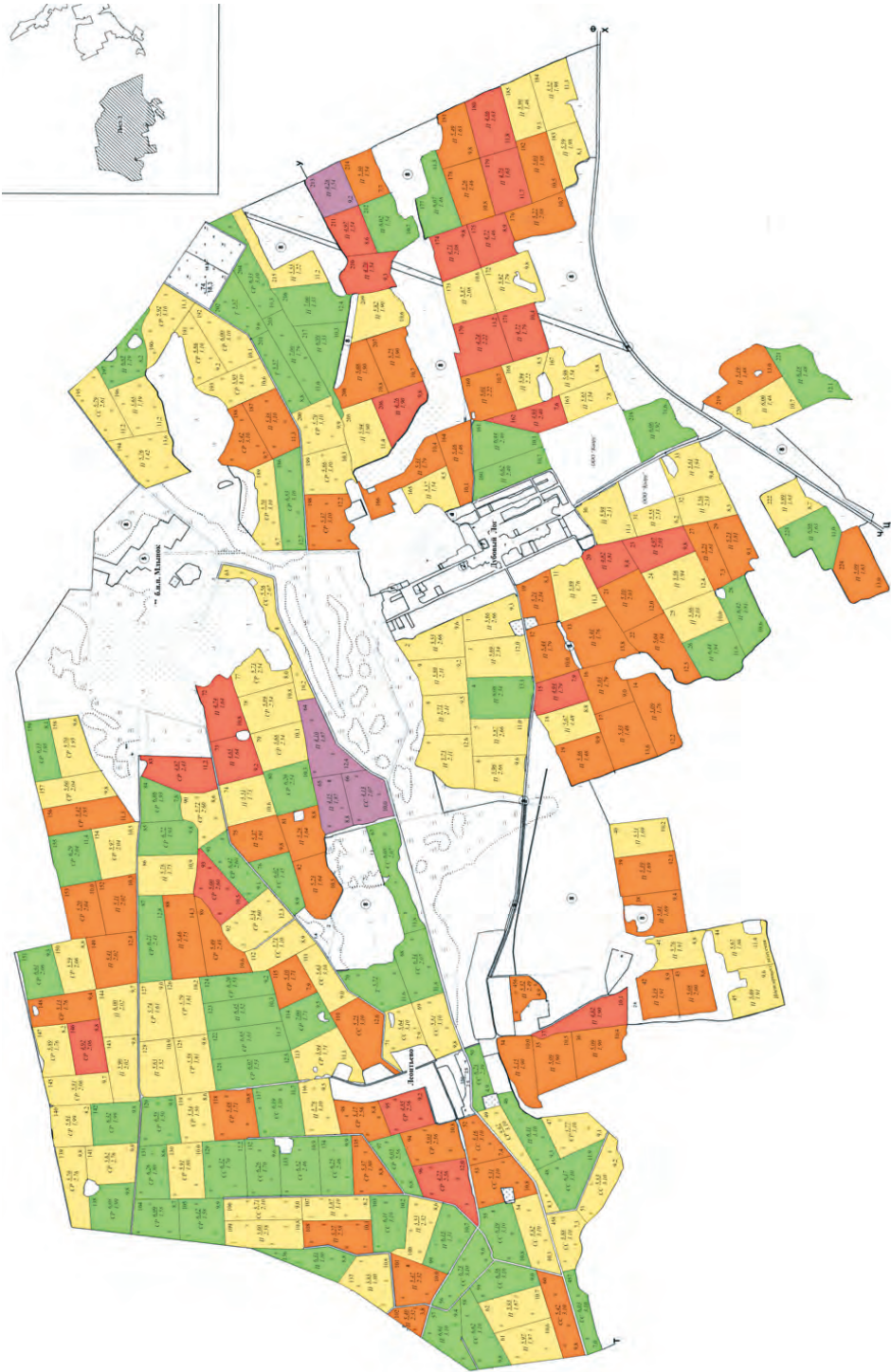


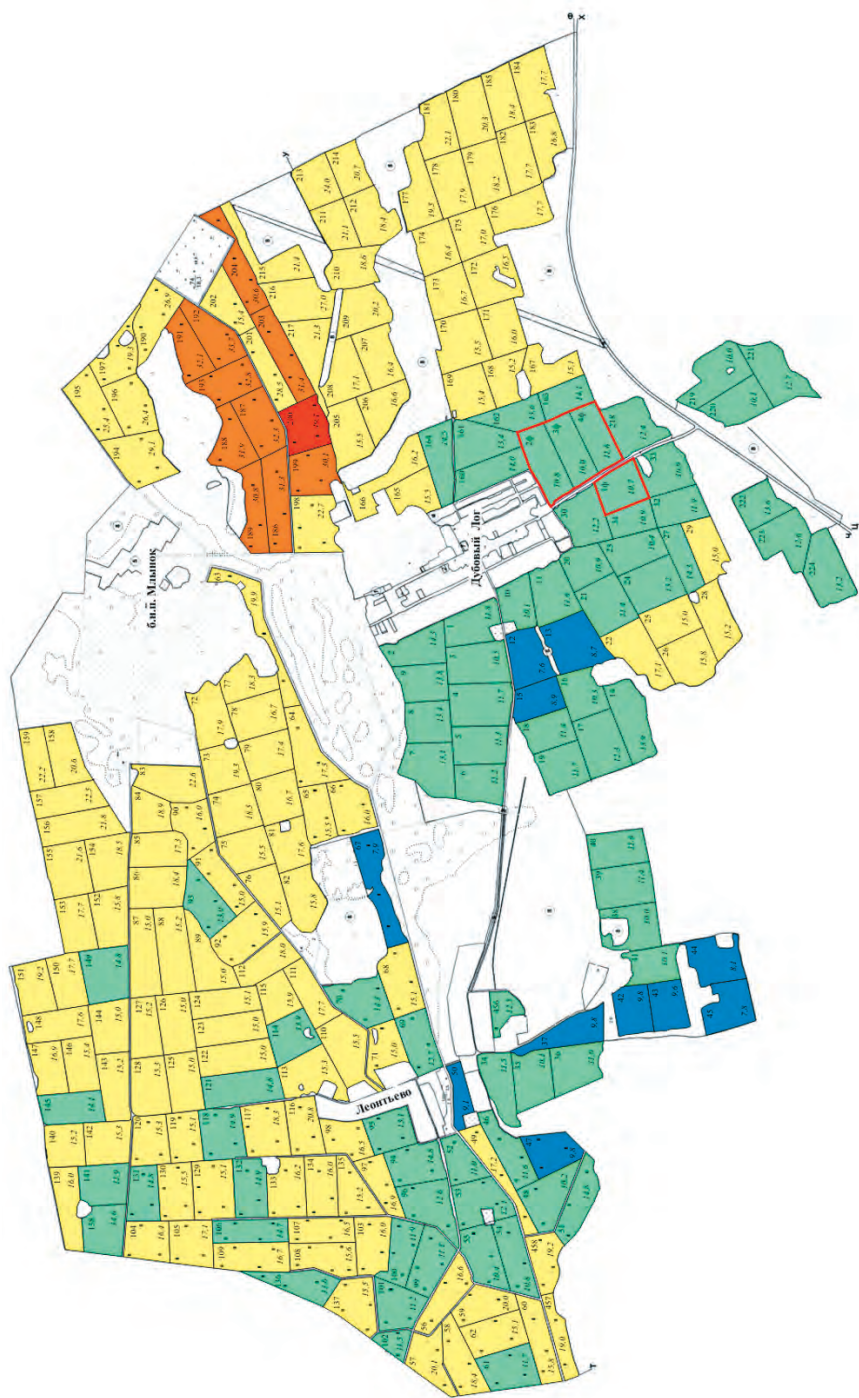
Рис. 2.8. Использование ДДЗ
для позиционирования отбора проб почвы
при полевых изысканиях

Оценка качества почвы в составе почвенных комбинаций выполняется в границах типов земель сельскохозяйственных организаций по содержанию и балансу гумуса в пахотном слое почв, тяжелых металлов и радионуклидов, кислотности почв, емкости катионного обмена, агрофизическим свойствам почвенного покрова типов земель, фактическому и потенциальному смыву почв. Оценку агроэкологической устойчивости почвенных комбинаций проводят по фактической и потенциальной урожайности сельскохозяйственных культур и коэффициенту ее вариации.

Информационно-аналитическая база данных разработана так, что составной ее частью может являться банк данных естественных почв республики и их агроэкологических (пахотных) аналогов, хранящий в настоящее время информацию о 62 разрезах. Современное экологическое состояние почвенно-земельных ресурсов единиц почвенно-экологического районирования (от провинции до подрайона) оценивается по запасам гумуса, емкости катионного обмена, формуле почвенной комбинации, коэффициенту неоднородности, значениям занимаемой площади.



a



б

Рис. 2.9. Учет агрохимического состояния почв в КСУП «Добровский Лог» Добрушского района Гомельской области:
а – кислотность почв и содержание гумуса; б – содержание цезия

Для территорий с мозаичными песчано-суглинистыми отложениями достоверная картографическая модель не может быть построена без характеристики их неоднородности. В случае двухчленных отложений требуется количественная оценка значимости мощности верхней толщи как фактора дифференциации почвенного покрова. Для характеристики условий почвообразования районов с однородными почвообразующими породами при прочих равных условиях допустимо ограничиться только переменными рельефа.

В рамках наиболее доступной для любых территорий информации проводится обоснование информативности различных морфометрических характеристик рельефа и методов их расчета. Продолжаются исследования селективности спектральных индексов многозональных аэрокосмических снимков по отношению к различным свойствам отражательной поверхности, в том числе почвообразующих пород.

Таким образом, базы геоданных состояния почвенного покрова и агроэкологической оценки агроландшафтов в Беларуси используются в качестве информационной основы при разработке нормативных требований к использованию и охране почвенно-земельных ресурсов, гарантирующих сохранение продукционных и экологических функций почв.

База данных ЗИС Республики Беларусь содержит информацию о современном, перспективном (прогнозном) и ретроспективном состоянии и использовании земельных ресурсов Республики Беларусь и включает пространственные и атрибутивные данные землеустроительного, земельно-кадастрового и топографического содержания. Слой «Почвы» базы данных ЗИС Республики Беларусь в настоящее время является основным источником актуальных сведений о почвах сельскохозяйственных земель и создается¹:

- для внутрихозяйственной организации территорий;
- планирования агротехнических и мелиоративных мероприятий;
- учета почвенных ресурсов, проведения бонитировки и экономической оценки почв;
- сравнительной оценки условий деятельности сельскохозяйственных предприятий;
- проведения почвенного районирования в научных, образовательных и прикладных целях.

Тематический слой «Почвы» ЗИС создается на основе цифровых почвенных карт отдельных сельскохозяйственных предприятий (землепользований). Создание тематического слоя «Почвы» базы данных ЗИС – это объединение и сшивка цифровых почвенных карт, разработанных на территории отдельных сельскохозяйственных предприятий, на которые уже были созданы авторские почвенные карты.

¹ Земельно-информационная система Республики Беларусь. Порядок создания и ведения (эксплуатации, обновления) : ТКП 610-2017 (33520). Введ. 01.09.2017. Минск, 2017.

Работы по созданию ЦПК выполняются специалистами почвенных отделов и отделов РУП «Проектный институт Белгипрозем» посредством цифрования объектов соответствующих почвенных карт масштаба 1 : 10 000. Кодирование объектов слоя осуществляется в соответствии с номенклатурным списком почв Беларуси (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Поля класса пространственных объектов «Почвы» в базе данных ЗИС

Наименование данных	Имя поля	Тип поля	Примечание
Код почвенной разновидности на карте	Code	text(10)	Кодируется в соответствии с номенклатурным списком почв Беларуси
Классификационная принадлежность почвы	Kod1	long integer	
Генезис почвообразующих пород	Kod2	long integer	
Гранулометрический или ботанический состав почв	Kod3	long integer	
Характер подстиления	Kod4	long integer	
Процент участия почвы в почвенной комбинации	Part	short integer	Заполняется в процентах
Первый знак кода почв (классификационная принадлежность)	Kod1_2	long integer	Кодируется в соответствии с легендой авторской почвенной карты. Не заполняется, если на данном контуре один вид почвы
Второй знак кода почв (генезис)	Kod2_2	long integer	
Третий знак кода почв (гранулометрический состав)	Kod3_2	long integer	
Четвертый знак кода почв (подстиление)	Kod4_2	long integer	
Процент участия почвы в почвенной комбинации	Part_2	short integer	Заполняется в процентах
Первый знак кода почв (классификационная принадлежность)	Kod1_3	long integer	Кодируется в соответствии с легендой авторской почвенной карты. Не заполняется, если на данном контуре один или два вида почв
Второй знак кода почв (генезис)	Kod2_3	long integer	
Третий знак кода почв (гранулометрический состав)	Kod3_3	long integer	
Четвертый знак кода почв (подстиление)	Kod4_3	long integer	
Процент участия почвы в почвенной комбинации	Part_3	short integer	Заполняется в процентах
Код, определяющий цвет почвенной разновидности	Color	short integer	Поле легенды

Наименование данных	Имя поля	Тип поля	Примечание
Код условного знака подстилаяния	Podst	short integer	Поле легенды
Код условного знака увлажнения	Uvlj	short integer	Поле легенды
Код условного знака эрозии	Eroz	short integer	Поле легенды
Площадь контура в квадратных метрах	Area	double	–

Примеры кодировки значений почвенных разновидностей и условных обозначений для ЦПК в зависимости от условий увлажнения и проявления процессов эрозии приведены в табл. 2.5, 2.6¹.

Общий порядок работ по созданию слоя:

- подготовка на основе авторских или издательских оригиналов почвенных карт соответствующих контурных карт;
- кодирование контуров полученных карт графическими номерами в соответствии с легендой почвенных карт;
- сканирование контурных почвенных карт, трансформирование и геопривязка к системе координат локальной ЗИС;
- автоматизированная оцифровка объектов почвенных карт;
- редактирование и согласование контуров слоя с объектами слоев «Земли» (Land) и «Мелиоративное состояние земель» (Melio).

Таблица 2.5

Увлажнение почвенных разновидностей (условные знаки для ЦПК)

Номер по номенклатурному списку почв	Код условного знака	Условное обозначение
048–052, 064, 065, 281–288	1	
036, 053–056	2	
071, 072, 082–098, 149–169, 289–294	3	
073, 074, 099–118, 140, 141, 170–207, 295–298, 385, 386, 409–412, 416–419, 425–428, 433–436	4	
075, 076, 119–133, 142, 143, 208–243, 299–303	5	

¹ Земельно-информационная система Республики Беларусь. Порядок создания и ведения (эксплуатации, обновления) : ТКП 610-2017 (33520). Введ. 01.09.2017.

**Эрозия почвенных разновидностей
(условные знаки для ЦПК)**

Номер по номенклатурному списку почв	Вид эрозии	Код условного знака	Условное обозначение
003, 009, 015, 028, 032, 045	Слабосмытые почвы	1	
004, 010, 016, 029, 033, 039, 046	Среднесмытые почвы	2	
005, 011, 017, 034, 040, 047	Сильносмытые почвы	3	
041, 049, 054, 097, 100, 106, 111, 120, 130, 153, 159, 165, 176, 183, 190, 197, 204, 207, 214, 221, 228, 235, 242, 278, 282, 286, 290, 293, 379, 382, 386	Слабодефлиро- ванные почвы	4	
042, 050, 098, 101, 160, 166, 279, 283, 287, 291, 294, 380, 383	Среднедефлиро- ванные почвы	5	
043, 051, 280, 284, 288, 384	Сильнодефлиро- ванные почвы	6	
085, 089, 093, 102, 107, 112, 116, 121, 126, 131, 151, 157, 163, 173, 180, 187, 194, 201, 211, 218, 225, 232, 239, 313–315, 317–319, 321–323, 325–327, 329–331, 333–335, 337–339, 341–343, 345–347, 349–351, 353–355, 357–359, 361–363, 365–367	Слабонамытые почвы	7	
086, 090, 094, 103, 108, 113, 117, 122, 127, 132, 152, 158, 164, 174, 181, 188, 195, 202, 212, 219, 226, 233, 240	Средненамытые почвы	8	
087, 091, 095, 104, 109, 114, 118, 123, 128, 133, 175, 182, 189, 196, 203, 213, 220, 227, 234, 241	Сильнонамытые почвы	9	

Цифровое почвенное картографирование является распространенным способом инвентаризации данных о потенциале землепользования и состоянии окружающей среды в региональном и глобальном аспектах¹. Среди

¹ SoilGrids1km – Global Soil Information Based on Automated Mapping. PLoS ONE / T. Hengl [et al.]. 2014. № 9(8): e105992. DOI:10.1371/journal.pone.0105992.

зарубежных баз почвенных данных наибольшее распространение получили следующие:

- SOTER (страны Европейского союза);
- CanSIS (Канада);
- ASRIS (Австралия);
- Почвенная база данных ESDB (страны Европейского союза);
- Цифровая почвенная карта мира – проект GlobalSoilMap;
- Всемирная гармонизированная почвенная база данных HWSD;
- Почвенная база данных WISE.

Проект SOTER был инициирован в 1986 г. FAO, Программой ООН по окружающей среде и ISRIC под эгидой Международного общества почвоведения. Цель данной программы заключалась в разработке глобальной базы данных SOTER в масштабе 1 : 1 000 000, которая должна была стать преемницей Почвенной карты мира FAO – ЮНЕСКО¹. База данных SOTER с глобальным охватом не была выполнена, но были разработаны базы данных SOTER для различных регионов, стран и континентов. База почвенных данных SOTER предоставляет данные о ключевых свойствах почвы и местности, которые имеют непосредственное отношение к агроэкологической оценке почв, в том числе продуктивной способности, исследованиям климата (секвестрация углерода), гидрологическому моделированию водосборных территорий.

Модель SOTER (рис. 2.10) включает данные о почвенных свойствах (Soil) и геоморфологических особенностях территории (TERrain). Почвенные свойства включают: органический углерод, общий азот, pH, способность к обмену катионами, насыщенность основаниями, содержание алюминия, карбоната кальция и гипса, обменный натрий, электропроводность, объемную плотность и фракции песка, ила и глины.

Канадская информационная служба по почвам (проект CanSiS) является платформой распространения данных о земельных ресурсах Канады. Проект обеспечивает доступ общественности к Национальной базе данных о почве (NSDB), которая содержит почвенные, ландшафтные и климатические данные для всей Канады и служит национальным архивом информации о земельных ресурсах, собранной федеральными и провинциальными полевыми исследованиями или созданной с помощью анализа данных о земельных ресурсах. База данных NSDB включает в себя покрытия ГИС в различных масштабах и характеристики каждого названного почвенного ряда. База данных NSDB содержит ссылки:

- на крупномасштабные и региональные наборы данных;
- данные почвенной карты и земель Канады в масштабе 1 : 5 000 000;
- агроэкологические ресурсы для северных частей Канады в масштабе 1 : 2 000 000;

¹ IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. № 106. FAO, Rome.

- почвенные ландшафты Канады – серия покрытий ГИС, которые показывают основные характеристики почвы и земли для всей страны;
- канадский земельный кадастр;
- подробные обследования почв в разных масштабах (от 1 : 20 до 1 : 250 000), охватывающие значительную часть сельскохозяйственных районов Канады.

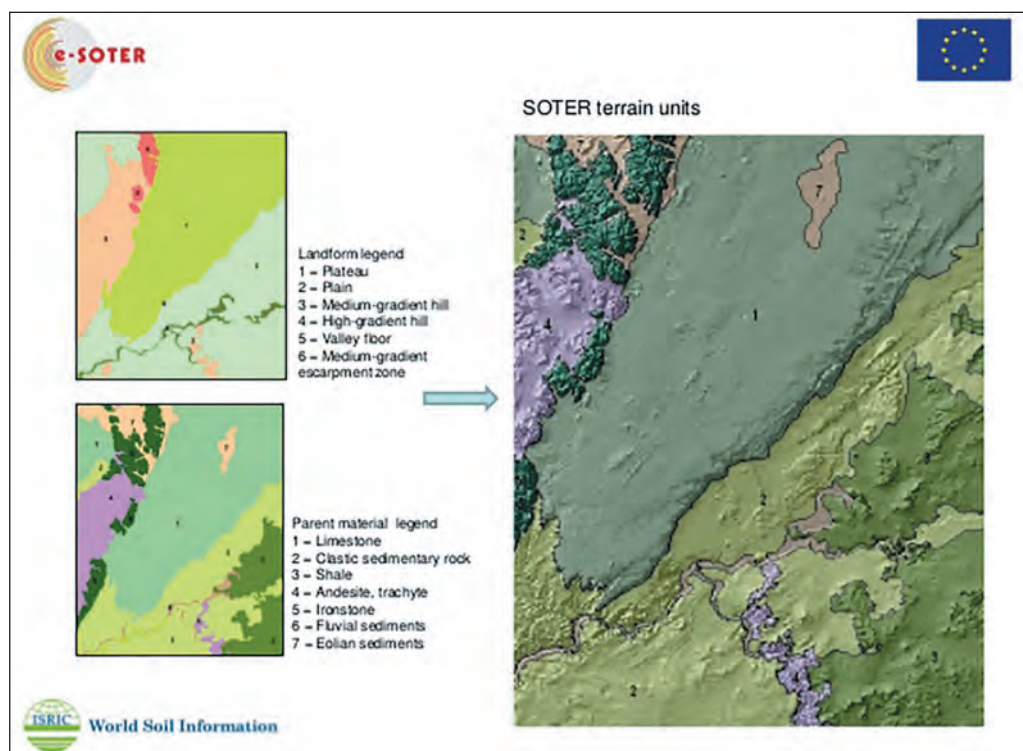


Рис. 2.10. База почвенных данных SOTER

Австралийская база данных ASRIS предоставляет онлайн-доступ к информации о почвенных и земельных ресурсах в согласованном формате по всей Австралии (рис. 2.11).

Австралийская информационная система по ресурсам почвы обеспечивает доступ к имеющейся информации о почве и земельных ресурсах в последовательном формате по всей стране – уровень детализации зависит от охвата обследования в каждом регионе. Система ASRIS обеспечивает иерархию единиц отображения с семью уровнями обобщения. На верхних трех уровнях (L1–L3) представлены описания почв и ландшафтов по всему континенту, а нижние уровни (L4–L6) предоставляют более подробную информацию, особенно о свойствах почв, для областей, где завершены полевые исследования. Она используется для составления кратких обзоров свойств почвы и ландшафта для ряда стратификаций более высокого уровня

в стране (например, выделение биогеографических регионов Австралии и границ управления водосборными бассейнами). Наиболее востребованными в настоящее время являются тематические блоки «Управление питательными веществами», «Атлас австралийских почв», «Физиографические регионы Австралии» и «Тематические страницы кислотно-сульфатных почв и растениеводства».

База данных ESDB включает почвенные данные на территорию стран Европейского союза и является основным источником информации о почве, предусматривающим получение большого количества вторичных специализированных классов пространственных данных. Например, на рис. 2.12 отражена устойчивость почвенного покрова Европейского союза к процессам водной эрозии. В Европейском архиве хранятся файлы с растровыми (сеточными) данными с размерами ячейки 10×10 км для большого количества параметров, связанных с почвой. Каждая сетка совмещена с опорной сеткой проекта инфраструктуры пространственных данных INSPIRE. Эти растры позволяют выполнять калибровку моделей, связанных с почвенными, земельными и водными ресурсами, а также качеством приземной воздушной среды.

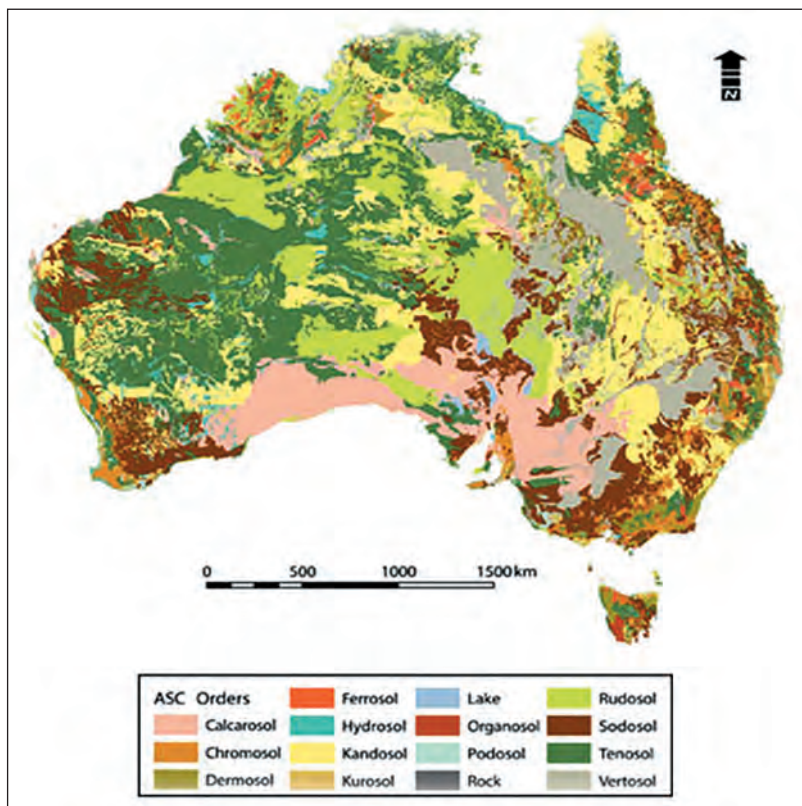


Рис. 2.11. База почвенных данных ASRIS

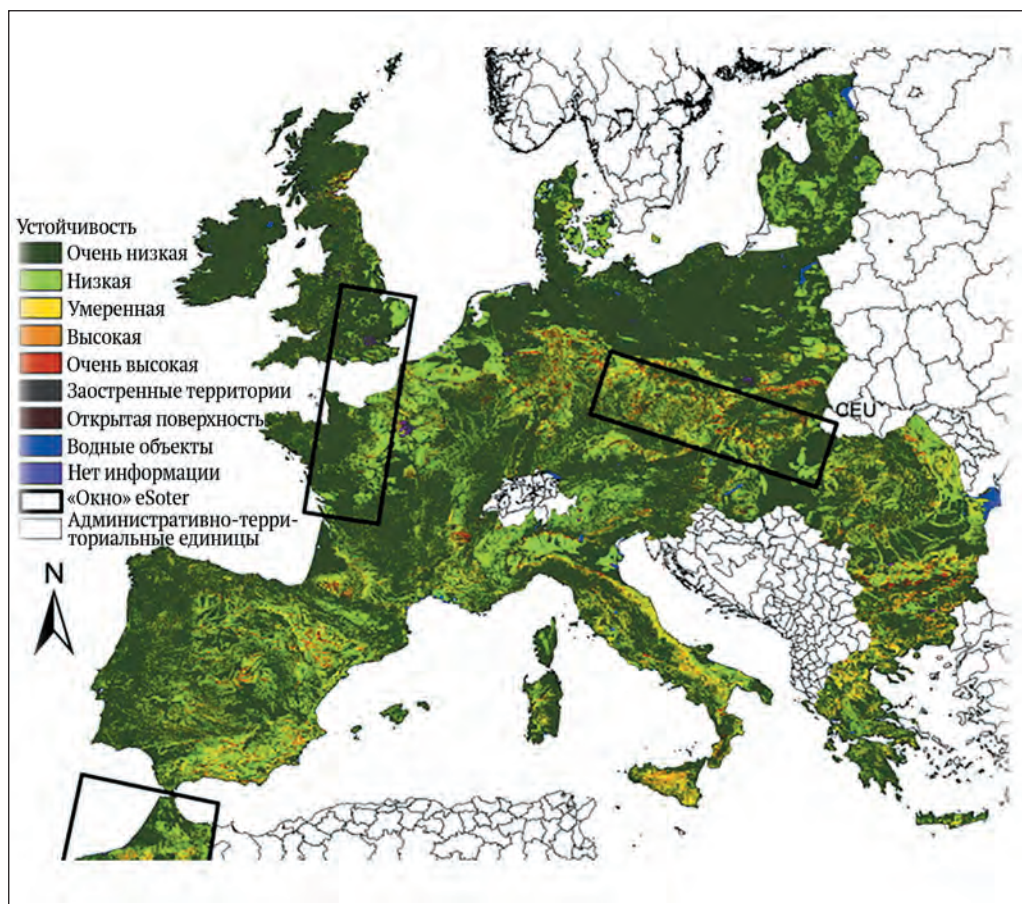


Рис. 2.12. Устойчивость почвенного покрова Европейского союза к процессам водной эрозии

Проект WISE включает два типа баз данных. Первый содержит согласованные данные профилей почв, которые являются репрезентативными для почвенных единиц Почвенной карты мира ФАО – ЮНЕСКО, а второй – Гармонизированной базы данных почв мира (HWSD). Эти типы баз данных используются для разработки согласованных правил таксономии для оценки свойств почвы, почвенных единиц ФАО в классификации WRB и зоны по глубинам почвенных профилей, включая такие показатели, как органический углерод, общий азот, pH воды, емкость обмена катионами, содержание карбоната кальция и гипса¹. Во втором типе базы данных WISE приведенные показатели и свойства почвы связаны с пространственными данными Почвенной карты мира ФАО – ЮНЕСКО 1 : 1 000 000. Они используются для

¹ IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps.

решения ряда глобальных проблем: оценки производства сельскохозяйственных культур, уязвимости почвы к загрязнению, запасов и изменений углерода в почве и потенциалов газовых выбросов.

Гармонизированная база данных HWSD (рис. 2.13) представляет собой 30-секундную растровую базу данных с более чем 15 000 различных единиц картографирования почв, которая объединяет существующие региональные и национальные обновления информации о почве во всем мире с национальными почвенными базами данных. Результирующая растровая база данных состоит из 21 600 строк и 43 200 столбцов, которые связаны с согласованными данными о свойствах почвы. Использование стандартизированной структуры позволяет сочетать данные атрибутов с растровой картой для отображения интегрированных данных в границах почвенных таксонов и характеристики отдельных параметров почвы (например, pH, емкость для хранения воды, мощность почвы, катионная обменная способность почвы и глинистой фракции, общие и обменные питательные вещества, содержание обменных оснований, соленость, гранулометрия и др.).

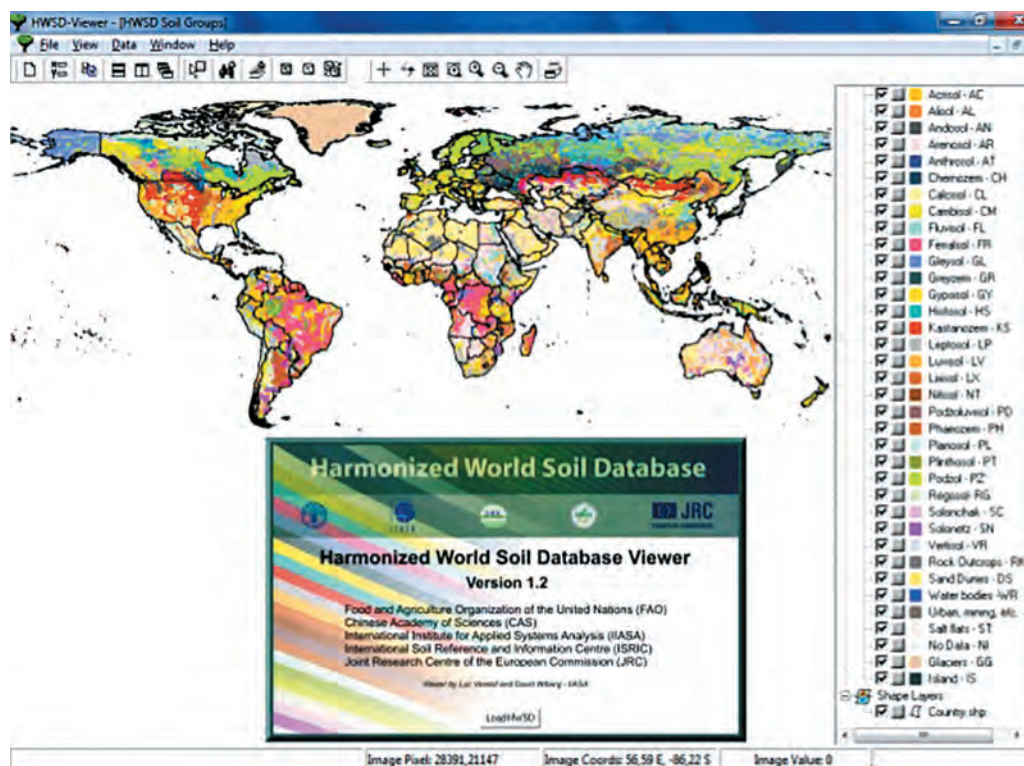


Рис. 2.13. Гармонизированная база почвенных данных HWSD

Проект GlobalSoilMap.net направлен на создание новой ЦПК мира, использующей современные и новейшие технологии для картографирования почв и прогнозирования свойств почвы. Эта новая глобальная

почвенная карта будет дополнена функциями интерпретации и моделирования, способствующими более эффективному решению ряда глобальных проблем, таких как производство продовольствия и искоренение голода, изменение климата и ухудшение состояния окружающей среды. Данный проект является инициативой Рабочей группы по составлению ЦПК Международного союза почвоведов (IUSS), и в настоящее время его курируют академические и исследовательские центры на всех континентах.

В глобальном отношении для безвозмездного получения геопространственных данных основными информационными ресурсами являются:

- Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu>);
- FAO Soils Portal (<https://fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/>);
- SentinelHub, сервис EO Browser (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>);
- бесплатный сервис получения геоданных (www.extract.bbbike.org);
- официальный сайт Геологической службы США (<https://earthexplorer.usgs.gov/>);
- сайт GIS-Lab (<https://gis-lab.info/>).

2.2. Цифровое почвенное картографирование

Цифровое почвенное картографирование представляет собой создание и компьютерное производство почвенных пространственных информационных систем на основе совокупного использования полевых и лабораторных наблюдений за почвенным покровом и технологий логического вывода пространственных и непространственных почвенных данных.

Традиционная картография почв, характеризующаяся значительной субъективностью и низкой производительностью, с начала 1980-х гг. стала заменяться цифровыми технологиями картографирования и методами геостатистики пространственных почвенных данных¹. В 1990 г. оформляется направление «педометрика» как ветвь почвоведения, занимающаяся применением математических, статистических и геостатистических методов для изучения распределения и генезиса почв². На современном этапе развития ЦПК ведущую роль занимают технологии ГИС, имеющие потенциал для повышения объективности почвенного картографирования и для организации мониторинга почв на разных уровнях обобщения, а также спрос в обеспечении систем точного и ландшафтно-адаптивного земледелия, поч-

¹Савин И. Ю. Анализ почвенных ресурсов на основе геоинформационных технологий : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. М., 2004.

²Геоинформатика : учеб. для вузов : в 2 кн. / под ред. В. С. Тикунова. М., 2010.

венно-экологического мониторинга и прогноза агрогенной и техногенной деградации почв и почвенного покрова¹.

Возможность пространственно связывать в ГИС объекты картографирования и их семантическую характеристику автоматизирует процессы систематизации, классификации и теоретических обобщений. Современные ГИС-технологии позволяют не только организовывать соответствующим образом информацию, но и автоматизировать статистическую обработку данных, составление почвенных карт, моделирование различных почвенных процессов. Такие системы обеспечивают надежное хранение данных, квалифицированное описание и интерпретацию различных параметров и морфологических характеристик почв, составление производных и традиционных ЦПК. В табл. 2.7 приведена сравнительная оценка традиционных аналоговых и цифровых методов картографирования почвенного покрова.

Таблица 2.7

Сравнение традиционных и цифровых методов составления крупномасштабных почвенных карт в методологии СПП

Содержание работ	Без ЦПК	С ЦПК
Алгоритм картографирования	Интерполяция точек почвенного опробования методами ландшафтной индикации	
Оперативная единица ПП	Ареалы факторных основ	Элементы растровой сетки
Учет уровней организации ПП	Сопоставление элементарных почвенных связей (ЭПС), выделенных на ключах, с масштабными уровнями организации рельефа и аэрофотосъемки	Подбор размеров ячейки (пикселя) с учетом размеров ЭПА – ЭПС
Набор факторов-индикаторов	Типы фотоизображений, качественная группировка элементов и форм рельефа, почвообразующих пород	Расширенный состав морфометрических характеристик рельефа, спектральных индексов аэрокосмической съемки
Метод группировки факторов-индикаторов	Экспертная группировка	Интерактивная оптимизация количественными методами информационного анализа

¹Муравьев А. Г. Оценка экологического состояния почвы. Практическое руководство ; 2-е изд., перераб. и доп. СПб., 2008 ; Флоринский И. В. Теория и приложения математико-картографического моделирования рельефа : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 25.00.33. М., 2010.

Содержание работ	Без ЦПК	С ЦПК
Типизация ПК	Экспертным методом до анализа почвенно-ландшафтных связей по материалам ключевых исследований	Использование методов нечеткой логики после построения модели почвенно-ландшафтных связей
Оценка надежности карты	По нормативам почвенной съемки и по вероятностной модели почвенно-ландшафтных связей	Возможность оценки достоверности карты для каждого пикселя

Среди методических и технологических ограничений ЦПК можно выделить нелинейный характер почвенно-ландшафтных связей и неточность пространственных данных с необходимостью их совмещения в процессе анализа¹. Эти ограничения могут преодолеваются при помощи адаптивных средств анализа, в том числе экспертных систем на основе баз знаний, а также развития средств сбора и координирования пространственно распределенной информации.

В изучении почвенно-ландшафтных связей получили признание такие международные модели, как CLORP и SCORPAN. Моделирование (прогнозное почвенное картографирование) почвенного покрова в соответствии с CLORP предполагает учет таких факторов, как климат (CLimate), биота (Organisms), рельеф (Relief), почвообразующая порода (Parent material) и время. Модель SCORPAN основана на пространственной оценке факторов почвенных свойств в горизонтах ключевых профилей (Soil properties), климата (Climate), биоты (Organisms), рельефа (Relief), почвообразующих пород (Parent material), возраста (Age), положения на местности (locationN). Обе модели включают ошибку прогнозирования, а также применение методов линейной регрессии, регрессионных деревьев, нейронных сетей, экспертных систем и других приемов моделирования геоданных.

Для анализа, моделирования и прогнозного картографирования свойств почвы и других компонентов ландшафта применяется метод прогнозного почвенного картографирования, который включает следующие этапы:

- 1) составление ЦМР некоторого участка;
- 2) расчет на основе ЦМР репрезентативного набора цифровых моделей морфометрических параметров;

¹ Домрачева А. Б. Пространственно-временное моделирование. М., 2010 ; Клебанович Н. В., Сазонов А. А., Червань А. Н. Почвенное ГИС-картографирование.

3) выделение в пределах территории участка, который репрезентативен относительно всей территории с точки зрения распределения значений морфометрических параметров;

4) отбор почвенных образцов на участке;

5) множественный корреляционный и регрессионный анализ характеристик почвы и рельефа для выборок на участке;

6) получение регрессионных уравнений почвенных характеристик, в которых предикторами являются характеристики рельефа;

7) расчет прогнозных карт характеристик почвы для всей территории на основе регрессионных уравнений, полученных для участка.

Почвенные карты делятся на общие и специальные. На общих картах показывают географическое распределение генетических разностей почв (типов, подтипов). К специальным относятся карты, предназначенные для решения различных производственных задач: карты типов мест произрастания лесных пород, почвенно-экологические, почвенно-мелиоративные, (например, кислотности почв (рис. 2.14), почвенно-агрохимические, почвенно-эрозионные карты, карты химического загрязнения почв и других видов деградации, иные карты).

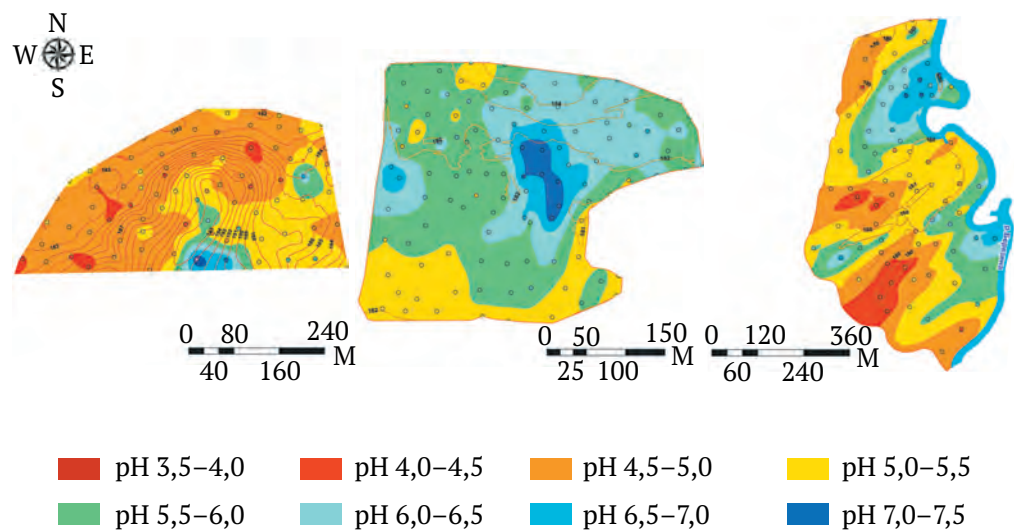


Рис. 2.14. Фрагменты карты кислотности почв.

Источники: Клебанович Н. В., Киндеев А. Л. Геоestatистическая оценка вариабельности свойств почв // Вестн. УдГУ. 2018.

Т. 28, № 1. С. 91–102

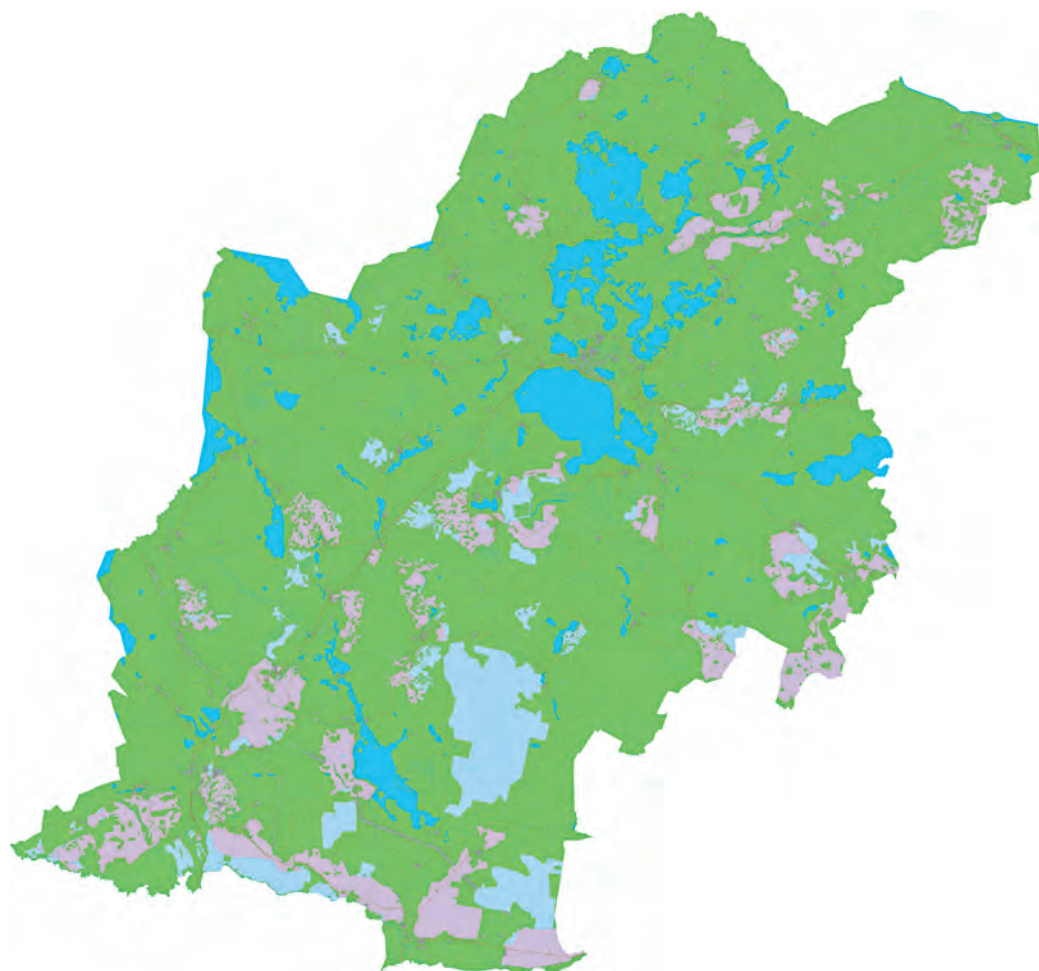
Специальные почвенные карты традиционно относятся к областям сельского хозяйства, мелиорации, бонитировки и экологических оценок. Указанные карты могут быть объединены в следующие группы:

- мелиоративные – отражают размещение рекомендуемых агро- или гидротехнических мероприятий, химических мелиораций и прогноз последствий (рис. 2.15);

- плодородия почв – показывают качественную или балльную оценку;
- пригодности для определенных сельскохозяйственных культур;
- эрозии почв – показывают площади почв разной степени смытости (дефлированности) или прогноз объема плоскостного смыва почв по стандартным моделям;
- засоления – отражают количественные оценки степени, глубины и химизма;
- почвенно-геохимические – показывают содержание определенных веществ в почвах – элементов питания растений (в соответствии с табл. 2.8) или загрязнителей, условия миграции или прогноз поведения химических элементов в почвах;
- почвенно-экологические – отражают условия существования живых организмов, загрязнение почв различными соединениями, устойчивость почв к определенным видам техногенных воздействий, к деградации при разных воздействиях, условия миграции загрязнителей в почвах и др.;
- прогнозные – имеют экологическую направленность, отражают прогноз возможного смыва почв или прогноз поведения определенных загрязнителей в почвах на основе анализа почвенно-геохимических обстановок;
- оценочные – отражают оценку природных условий и природных ресурсов (например, карты «Бонитет почв», «Агропроизводственная оценка земель», «Оценка территорий по условиям обработки пахотных земель», «Степень увлажнения сельскохозяйственных земель» (рис. 2.16), «Агро-экологический потенциал почв»).

Основными методами исследования в географии почв являются графический анализ и математико-статистический анализ данных. Графический анализ заключается в изучении почв при помощи графических построений, выполняемых по картам. Такими построениями могут быть профили, разрезы, блок-диаграммы и другие образно-знаковые модели, производные от карт, а также различные графики-диаграммы, розы направлений или звездные диаграммы и иные приемы. Математико-статистический анализ – это исследование явлений, которые можно рассматривать на почвенных картах как однородные множества изменяющихся в пространстве случайных величин: высот, температур, посевных площадей, продуктивной способности и других показателей, называемых в математической статистике статистическими совокупностями.

Главной задачей ЦПК в почвенно-географических исследованиях является обнаружение скрытых закономерностей в пространственной СПП, что должно способствовать появлению новых гипотез и приводить к более глубокому осмыслению закономерностей, определяющих такую структуру в географической среде независимо от физико-географического положения изучаемой территории (рис. 2.17, 2.18).



Типы земель		Вид гидромелиоративного освоения сельскохозяйственных земель	
■	Лесные земли	■	Осушение открытой мелиоративной сетью
■	Земли под водными объектами	■	Закрытый мелиоративный дренаж
■	Земли под дорогами		
■	Населенные пункты		

Рис. 2.15. Фрагмент карты
мелиоративного состояния участков
сельскохозяйственных земель

Таблица 2.8

**Показатели
агрохимических свойств почв**

Почвы	Единица измерения	Критерий оценки состояния по химическим показателям			
		Оптимальное	Допустимое	Неудовлетворительное	Критическое
Кислотность					
Глинистые и суглинистые	pH _{KCl}	6,0–6,7	5,0–6,0; 6,7–7,0	<5,0; >7,0	<4,5; >7,5
Супесчаные		5,8–6,2	5,0–5,8; 6,2–6,5	<5,0; >6,6	<4,5; >7,0
Песчаные		5,5–5,8	5,0–5,5; 5,8–6,0	<5,0; >6,0	<4,5; >6,5
Торфяно-болотные		5,0–5,3	4,5–5,0; 5,3–6,5	<4,5; >6,6	<4,0; >7,0
Насыщенность почв основаниями					
Глинистые и суглинистые	%	80–95	55–80	<55	<40
Супесчаные		75–90	50–75	<50	<40
Песчаные		75–85	45–75	<45	<40
Торфяно-болотные		70–85	45–70	<45	<40
Содержание P ₂ O ₅					
Глинистые и суглинистые	мг/кг	250–300	100–250; 300–400	<100; >380	< 60; >400
Супесчаные		200–250	100–200; 250–300	<100; >300	< 60; >320
Песчаные		150–200	100–150; 200–250	<100; >250	< 60; >270
Торфяно-болотные		700–1100	300–700; 700–1100	<300; >1100	< 200; >1200
Содержание K ₂ O					
Глинистые и суглинистые	мг/кг	200–300	140–200; 300–400	<140; >380	< 80; >400
Супесчаные		170–250	140–170; 250–300	<140; >300	< 80; >300
Песчаные		100–150	100–140; 150–250	<140; >250	< 80; >250
Торфяно-болотные		600–800	300–600; 800–1200	<300; >1200	<200; >1300

Почвы	Единица измерения	Критерий оценки состояния по химическим показателям			
		Оптимальное	Допустимое	Неудовлетворительное	Критическое
Содержание MgO					
Глинистые и суглинистые	мг/кг	150–300	60–150; 300–400	<60; >400	<50; >450
Супесчаные		120–150	60–120; 150–350	<60; >350	<50; >400
Песчаные		80–100	60–80; 100–300	<60; >300	<50; >350
Торфяно-болотные		450–900	300–450; 900–1300	<300; >1300	<200; >1500
Содержание CaO					
Глинистые и суглинистые	мг/кг	1200–1600	500–1200; 1600–1800	<500; >1800	<400; >2000
Супесчаные		100–1200	500–1000; 1200–1600	<500; >1600	<400; >1800
Песчаные		800–1200	500–800; 1200–1400	<500; >1400	<400; >1600
Торфяно-болотные		3600–4800	1400–3600; 4800–6000	<1400; >6000	<1200; >6200
Гумус					
Глинистые и суглинистые	%	2,5–3,0	1,0–2,5	0,8–1,0	<0,8
Супесчаные		2,0–2,5	1,0–2,0	0,8–1,0	<0,8
Песчаные		1,8–2,2	1,0–1,8	0,8–1,0	<0,8
Торфяно-болотные		–	–	–	–
Глинистые и суглинистые	т/га	90–110	50–90	<50	<45
Супесчаные		70–90	50–70	<50	<45
Песчаные		70–90	50–70	<50	<45
Торфяно-болотные		–	–	–	–
Индекс окультуренности		0,80	0,60–0,79	0,40–0,59	<0,40

Источник: Методика агроэкологической оценки почвенно-ресурсного потенциала эрозионных и заболоченных агроландшафтов северной, центральной и южной провинций Беларуси / Н. Н. Цыбулько [и др.]. Минск, 2019.



Рис. 2.16. Фрагмент карты степени увлажнения почв сельскохозяйственных земель

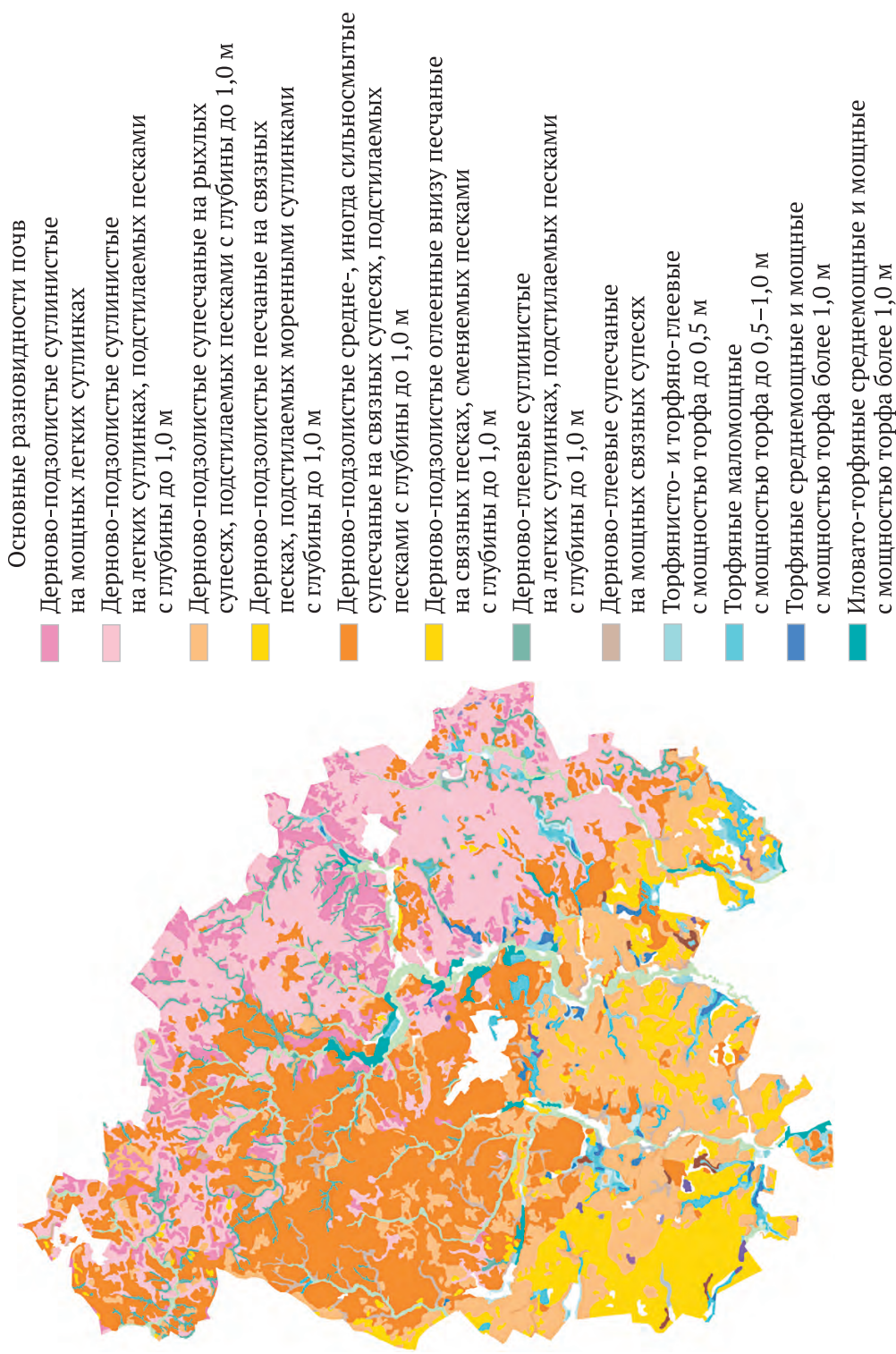


Рис. 2.17. Цифровая почвенная карта Дзержинского района

Основные разновидности почв

-  Дерново-подзолистые песчаные на связных песках, подстилаемых глубже 1,0 м суглинками
-  Дерново-подзолистые оглеенные внизу песчаные на связных песках, сменяемых с глубины до 1,0 м рыхлыми песками, местами подстилаемых глубже 1,0 м суглинками
-  Дерново-подзолистые глееватые супесчаные на рыхлых супесях, подстилаемых с глубины до 1,0 м суглинками
-  Дерново-подзолистые глееватые иллювиально-гумусовые супесчаные на рыхлых супесях, подстилаемых с глубины до 1,0 м песками
-  Дерново-глееватые суглинистые на легких суглинках, подстилаемых с глубины до 1,0 м рыхлыми песками, иногда на мощных суглинках
-  Дерново-глеевые супесчаные на рыхлых, местами связных супесях, подстилаемых с глубины до 1,0 м песками
-  Дерново-глеевые песчаные на связных, местами рыхлых песках, сменяемых с глубины до 1,0 м рыхлыми песками, иногда подстилаемых суглинками
-  Торфяно- и торфянисто-глеевые (мощность торфа до 0,5 м)
-  Торфяные среднемошные и мощные (мощность торфа более 1,0 м)
-  Торфяные маломощные (мощность торфа 0,5–1,0 м)
-  Торфяно- и торфянисто-глеевые (мощность торфа до 0,5 м)
-  Торфяные среднемошные и мощные (мощность торфа более 1,0 м)
-  Аллювиальные дерново-глееватые и глеевые на суглинистом аллювии
-  Иловато-торфяно и торфянисто-глеевые (мощность торфа до 0,5 м)

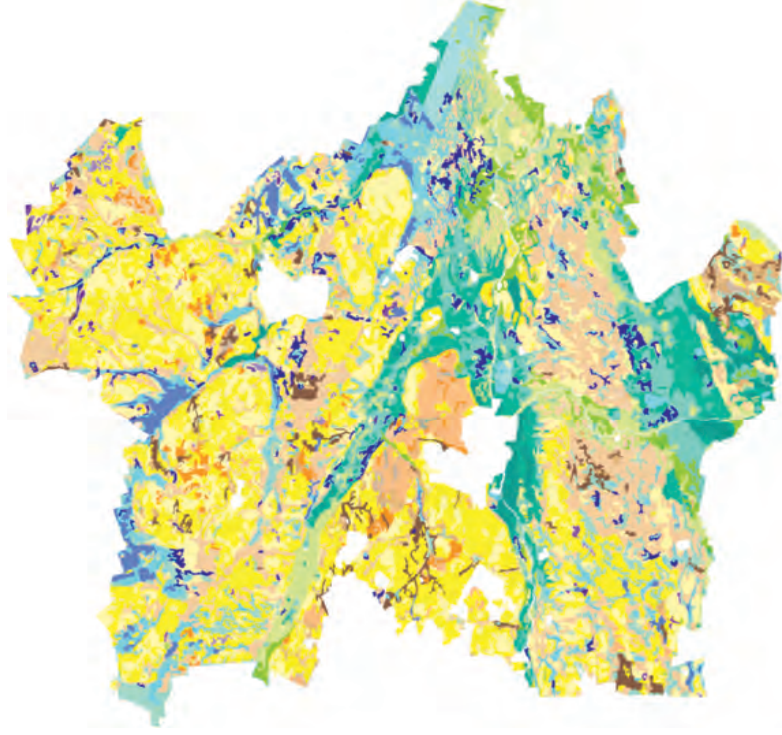


Рис. 2.18. Цифровая почвенная карта Пинского района

Крупномасштабное почвенное картографирование включает три периода: подготовительный камеральный, полевую съемку и заключительный камеральный.

Подготовительный период предусматривает следующие этапы:

- 1) географическая привязка объектов съемки;
- 2) подбор материалов и подготовка картографической основы (топографические карты, аэрокосмические снимки и фотоплан местности);
- 3) изучение материалов о факторах почвообразования по имеющимся сведениям о почвах и особенностях строения почвенного покрова;
- 4) составление предварительного систематического списка почв;
- 5) выбор масштаба съемки исходя из цели;
- 6) составление предварительного макета почвенной карты.

Полевая съемка (полевые почвенные изыскания) включает следующие виды работ:

- заложение точек опробования (почвенных разрезов, ям, полуям, прикопок в соответствии с нормами съемок для данного масштаба и категорией сложности территории);
- уточнение на местности (диагностика) определенных по макету границ и форм почвенных контуров¹;
- морфологическое описание и отбор почвенных образцов для физико-химической, микроморфологической и микробиологической характеристики (бионического анализа) почв, уточнения классификационной принадлежности почвы;
- картирование почвенного покрова участков, не обеспеченных соответствующей почвенной информацией.

Заключительный камеральный период включает составление окончательного варианта почвенной карты с учетом результатов анализа отобранных образцов при генерализации почвенных неоднородностей на соответствующем масштабу картографирования уровне СПП. Основная задача этого периода заключается в составлении векторной модели распределения почв в пространстве и ЦПК². Генерализация ЦПК заключается в обобщении качественных и количественных характеристик таксонов почвы, замене индивидуальных понятий собирательными, отвлечении от частных и деталей для получения отчетливого изображения главных черт пространственного размещения.

Алгоритм картографирования включает:

- систематизацию почвенных данных (происходит формирование списка почв и почвенных комбинаций);

¹ Полевая диагностика почв Беларуси : практ. пособие / Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь, Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии ; под ред. Г. С. Цытрон. Минск : Учеб. центр подгот., повышения квалификации и переподгот. кадров землеустроит. картографо-геодез. службы. 2011.

² Земельно-информационная система Республики Беларусь. Порядок создания и ведения (эксплуатации, обновления) : ТКП 610-2017 (33520). Введ. с 01.09.2017.

- систематизацию факторов-индикаторов (выполняется группировка форм рельефа, литологических условий, растительности, типов фотоизображения), на данном этапе могут создаваться факторные карты почвообразования (например, литолого-морфологическая и др.);

- формирование структуры базы данных;
- маршрутно-ключевые полевые исследования с учетом СПП;
- разработку вероятностной модели почвенно-ландшафтных связей;
- интерполяцию закономерностей на изучаемой территории на основе модели почвенно-ландшафтных связей, составление авторского оригинала почвенной карты;
- пространственную оценку точности ЦПК, проверку топологии;
- агроэкологическую интерпретацию ЦПК.

Цифровое почвенное картографирование предусматривает следующие этапы:

1) подготовительные работы (производится систематизация исходных данных, подготовка легенд и проектов представления пространственных слоев в окне пользователя базы данных);

2) ортотрансформирование растровых изображений факторов землепользования, в том числе авторских почвенных карт, землеустроительных планов, картограмм агрохимических показателей, ДДЗ;

3) создание цифровых почвенных и геосистемных карт, контуров землепользований и видов земель с учетом данных ЗИС;

4) создание цифровой растровой основы по картографическим материалам;

5) сводка контуров границ почвенных разновидностей, почвенных комбинаций и границ распространения природных факторов землепользования на уровне базовых районов каждой ПЭП и для территории типовых агроландшафтов с использованием методов геометрической и семантической генерализации;

6) проверка целостности и взаимной топологии пространственных классов данных.

В числе прочих проводится векторизация почвенных карт (М 1 : 50 000 и М 1 : 10 000) районов и сельскохозяйственных организаций, материалов агрохимического обследования сельскохозяйственных земель, материалов схем землеустройства районов и схем внутрихозяйственного и межхозяйственного землеустройства сельскохозяйственных организаций (М 1 : 50 000; М 1 : 10 000), данных актуального тура агрохимических обследований территории хозяйств, материалов кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения, результатов картометрического анализа СПП с картометрической оценкой сложности, контрастности и неоднородности.

Почвенный покров кодируется с точки зрения состава почвенных разновидностей и типов почв и с позиции положения относительно основных путей транслокации вещества и энергии (типология земель с учетом расположения почвенных комбинаций). Для автоматизации инвентаризации почвенных ресурсов в баз данных уже на этапе цифрового описания разрабатываются

скрипты и модули на языке программирования. Представим фрагмент кодов скриптов для цифрового описания степени увлажнения, эродированности почв и характера использования на языке Visual Basic for Application (VBA).

```
z=0 n="неэродированные"
Select Case [kod1_1]
case 3, 9, 15, 28, 32, 33, 38, 45
z=1 n="слабосмытые"
case 4, 10, 16, 29, 33, 39, 46
z=2 n="среднесмытые"
case 5, 11, 17, 30, 34, 40, 47, 391, 392, 393
z=3 n="сильносмытые"
case 41, 49, 54, 97, 100, 106, 111, 120, 125, 130, 153, 159, 165, 176, 183,
190, 197, 204, 207, 214, 221, 228, 235, 242, 278, 282, 286, 290, 293, 379, 382,
386, 398, 399, 400
z=4 n="слабодефлированные"
case 42, 50, 84, 98, 101, 154, 160, 166, 279, 283, 287, 291, 294, 380, 383, 397
z=5 n="среднедефлированные"
case 43, 51, 280, 284, 288, 384, 396
z=6 n="сильнодефлированные"
case 85, 89, 93, 102, 107, 112, 116, 121, 126, 131, 151, 157, 163, 173, 180, 187,
194, 201, 211, 218, 225, 232, 239, 313, 314, 315, 317, 318, 319, 321, 322, 323, 325,
326, 327, 329, 330, 331, 333, 334, 335, 337, 338, 339, 341, 342, 343, 345, 346, 347,
349, 350, 351, 353, 354, 355, 357, 358, 359, 361, 362, 363, 365, 366, 367
.....
z=9 n="сильнонамытые"
end select
z=0 n="автоморфные"
Select Case [kod1_1]
case 48, 49, 50, 51, 52, 64, 65, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288
z=1 n="оглеенные внизу"
case 36, 53, 54, 55, 56
z=2 n="оглеенные контактно"
case 71, 72, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98,
149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164,
165, 166, 167, 168, 169, 289, 290, 291, 292, 293, 294
z=3 n="временно избыточно увлажненные (слабоглееватые)"
case 73, 74, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111,
112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 140, 141, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176,
177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192,
193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 295,
296, 297, 298, 385, 386, 409, 410, 411, 412, 416, 417, 418, 419, 425, 426, 427,
428, 433, 434, 435, 436
z=4 n="глееватые"
case 75, 76, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131,
132, 133, 142, 143, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219,
220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235,
236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 299, 300, 301, 302, 303
```

```

z=5 n="глеевые"
end select
z=0 n=""
Select Case [вид]
case 1
z=1 n="пахотные земли"
case 2
z=2 n="залежные земли"
case 3, 4, 5, 6
z=3 n="земли под постоянными культурами"
case 9, 12, 15
z=4 n="луговые улучшенные земли"
case 7, 8, 10, 11, 13, 14
z=5 n="луговые земли"
case 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 30, 31, 32
z=6 n="лесные и прочие лесопокрытые земли"
case 28, 29
....
case 40, 41, 42, 43, 44
z=10 n="земли под зданиями и сооружениями"
case 52, 53, 54, 55, 56, 57
z=13 n="другие земли"
case 54, 55, 58, 663, 664, 59, 53, 56, 662
z=13 n="неиспользуемые земли"
end select

```

Требования к содержанию, детальности, точности и оформлению крупномасштабных почвенных карт определяется их практическим назначением, а также графическими возможностями. Выбор масштаба (1 : 10 000 или 1 : 25 000, реже 1 : 50 000) зависит от сложности СПП. Средний размер контура почвенной карты (единицы – десятки гектаров) соизмерим с низшей единицей хозяйственного использования отдельно обрабатываемого участка. Минимальный размер почвенного ареала контура определяется графическими возможностями масштаба (0,25 см²).

Вся информация по точкам (название почв, границы горизонтов, морфологические и аналитические данные) вводится в атрибутивную базу данных, которая составляется в соответствии с подходами в почвенной информатике. Далее она пополняется на всех этапах исследований заданной территории по мере накопления материала.

Автоматизированный учет особенностей географии и характеристик почв и почвенного покрова предусматривает цифровое описание почвенно-земельных ресурсов по единым принципам, обеспечивающим типологическую корректность анализируемых данных. В основу таких принципов положены не только технические приемы описания почвенных условий и земельных участков в системе государственного земельного кадастра, но и геосистемный метод анализа СПП по закономерно организованным в пространстве (и времени) почвенным комбинациям.

Приведем основные принципы описания почвенного покрова в ГИС.

1. Цифровое описание выполняется в базе данных в единой системе координат с одной пространственной привязкой к местности.

Использование единой проекции и системы географических координат позволяет выполнять автоматизированный расчет площади и периметра всех полигональных объектов пространственных слоев данных, а также всех объектов, участвующих в оверлейных операциях.

2. Инвентаризация почвенных ареалов реализуется вместе с характеристикой соответствующих земельных участков для одновременного учета потенциала почвенно-земельных ресурсов и их фактического использования (охраны).

Принципы создания информационных классов и связей между ними удовлетворяют задачам наиболее точного и реального (учитывающего фактические условия хозяйствования) анализа почвенно-земельных ресурсов на уровне агроландшафтов, районов и регионов не только для выработки стратегии их дальнейшего экономически обоснованного и экологически безопасного использования, но и для разработки методологии инвентаризации почвенно-земельных ресурсов республики на современном геоинформационном уровне.

3. Признаки и характеристика почвенных ресурсов учитываются в порядке от крупного масштаба к мелкому. Такой подход необходим для максимального сохранения данных крупномасштабных обследований почвенного покрова сельскохозяйственных земель. Переход к более мелкому масштабу осуществляется при помощи геометрической, семантической и других видов генерализации картографической и атрибутивной информации.

4. Все пространственные признаки, в первую очередь контуры почвенных таксонов и границы видов земель, должны быть топологически корректны по отношению друг к другу.

Соблюдение топологии необходимо для многофакторного (кросс-слойного) анализа классов данных при оценке целесообразности фактического использования земель, определении необходимости охраны почв, противоэрозионной организации территории.

5. Описание почвенно-земельных ресурсов в базе данных предусматривает ресурсный, факторный и оценочный тематические блоки пространственно распределенных данных.

Ресурсный информационный блок представляет собой совокупность инвентаризационных слоев почвенных ареалов, видов и типов земель и растительности, выступающих в роли непосредственного объекта хозяйственной эксплуатации. Наличие в базе данных факторного блока необходимо для дифференцированного крупномасштабного учета природных и производственных условий хозяйствования. Коды программных скриптов для цифрового описания таких факторов хозяйствования, как степень увлажнения, эродированности почв, характер их использования и некоторые другие, за-

писывают в структуре базы данных на языке программирования VBA. Оценка почвенно-земельных ресурсов с определением вариантов их использования или охраны выполняется на заключительном этапе многофакторного анализа по каждому территориальному объекту одновременно с графическим сопровождением разрабатываемых рекомендаций.

6. Геоинформационное описание почвенно-земельных ресурсов выполняется для всей территории сельскохозяйственной организации (агроландшафта, единицы административно-территориального устройства) независимо от характера их использования.

Анализ территории без учета фактического применения почвенно-земельных ресурсов связан с наличием генетических связей между природными факторами землепользования. Совокупное влияние данных факторов на продукционную способность почв проявляется на гораздо большей площади, чем границы отдельно обрабатываемого рабочего участка, и потому должно быть оценено при помощи системного (геосистемного) подхода¹.

7. Учитываются те характеристики и свойства почв, которые могут служить информационной основой для оценки агроэкологического состояния почвенно-земельных ресурсов в системе экологического нормирования, ограничений и обременений использования и охраны земель.

Указанный принцип вызван практической направленностью учета почвенно-земельных ресурсов. Оценка агроэкологического состояния почв и почвенного покрова проводится как для определения наиболее целесообразного направления использования земельных участков, так и для указания степени допустимого антропогенного воздействия на почвенный покров сельскохозяйственных земель в агроландшафтах².

8. Цифровое описание почвенного покрова удовлетворяет задачам адаптивно-ландшафтного земледелия.

В структуре базы данных предусмотрена единая символьная интерпретация данных для каждого тематического слоя. Так обеспечивается типовое проектирование АЛСЗ³ в зависимости от местного сочетания природных условий независимо от территориального положения и административной подчиненности землепользователей.

9. Структура базы данных обеспечивает возможность проведения ретроспективного и перспективного анализа изменения СПП, динамики продуктивной способности почвенных комбинаций и отдельных почв.

¹Арманд Д. Л. Наука о ландшафте. М. : Мысль, 1975.

²Технологическая документация на формирование почвозащитных систем земледелия в разных почвенно-эрозионных зонах Беларуси с применением ГИС-технологий / РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НПЦ по земледелию НАН Беларуси. Минск, 2010.

³Кирюшин В. И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М., 2011.

Ретроспективный анализ необходим для изучения динамики свойств почвенного покрова и характеристик земельных участков как территориальных объектов хозяйствования. Возможность его обусловлена системным учетом почвенно-земельных ресурсов: представляется цифровое описание не только почвенных ареалов, но и закономерно организованных единиц СПП – почвенных комбинаций. Расчет экологических рисков природопользования в перспективе с использованием комбинационного подхода также возможен благодаря однотипной реакции на внешнее воздействие ПК.

10. Учет почвенного покрова должен предусматривать функции актуализации информации посредством учета данных мониторинговых наблюдений и периодического обследования почвенно-земельных ресурсов при помощи ГИС-приемов и алгоритмов с использованием обменных форматов файлов и модулей кодирования.

Геоинформационное описание почвенного покрова учитывает в обязательном порядке использование на практике результатов инвентаризации в ходе оценки почвенно-земельных ресурсов. По данной причине наряду с основополагающими подходами (сравнительно-географический, геосистемный, статистический) используются частные принципы и специальные методы и критерии оценки агроэкологического состояния почвенно-земельных ресурсов, среди которых: 1) зависимость формирования и развития экологической ситуации от обуславливающих ее природных и социально-экономических факторов; 2) соответствие (или несоответствие) антропогенной нагрузки природно-ресурсному потенциалу агроландшафта; 3) экологическая значимость природных факторов; 4) приоритетность; 5) длительность развития экологической ситуации; 6) опасность и риск возникновения или развития экологической ситуации; 7) комбинационная интеграция факторов экологического риска в ходе сельскохозяйственного использования почвенно-земельных ресурсов.

Таким образом, принципы геоинформационного описания почвенного покрова обуславливают структуру, алгоритмы наполнения и эксплуатации базы геоданных на каждом из этапов инвентаризации, оценки и мониторинга показателей состояния почвенно-земельных ресурсов.

2.3. Данные дистанционного зондирования в ГИС-анализе почвенного покрова

В настоящее время разрабатываются разнообразные методики использования результатов дистанционных съемок для изучения свойств почв. Почвоведы на основе знания свойств и состояний конкретной почвы стремятся выявить связи между почвенными процессами и их внешними проявлениями, которые регистрируются дистанционными методами. Создаются новые модели, связывающие отражательную способность почвы с ее физическими свойствами, например влажностью, содержанием органиче-

ского вещества, наличием минеральных пленок, механическим составом, структурой, свойствами поверхности¹. Полученные данные используются для инвентаризации и мониторинга земель.

Для оценки влажности почвы можно использовать и тепловые снимки, поскольку сухие и влажные почвы отличаются по теплоемкости и температуре поверхности, особенно в периоды их нагревания солнцем. Например, избыточное увлажнение почв дешифрируется по потемнению фототона изображения в ближней инфракрасной области. Изменение содержания гумуса в почве на 0–7 % также влияет на отражательные свойства почв и может фиксироваться на снимках. Чем светлее ареалы почвенного покрова на снимках, тем меньше гумуса при прочих равных условиях содержит почва. Эродированность, выраженная плоскостным смывом почвы, дешифрируется по чередованию светлых пятен смытых почв на возвышенных участках и темных пятен намытых почв в понижениях. Дефляция определяется по светлым пятнам выдувания почв, которые вытянуты по направлению ветра.

Выделяют следующие способы дистанционного получения данных о почвах и почвенном покрове: оптическая, тепловая инфракрасная, гиперспектральная съемки, а также съемка в микроволновом диапазоне.

Оптическая съемка используется для выявления различных свойств почвы, таких как цвет, шероховатость поверхности, растительность и влажность почвы. Оптическое дистанционное зондирование обеспечивает количественную оценку отраженного излучения от поверхности Земли, что связано со свойствами почвы. Органические вещества, размер частиц и содержание влаги влияют на отражательную способность. Отражательная способность почв находит свое выражение в цвете поверхности и в показателе альбедо. Оптическое дистанционное зондирование наиболее часто используется для оценки влажности почвы. С помощью снимков, выполненных оптической съемкой, могут быть рассчитаны вегетационные индексы, такие как NDVI, RVI и др. Индекс NDVI может быть использован в прогнозировании продуктивности почв сельскохозяйственных земель, оценке биологического разнообразия территории, оценке ущерба от различных естественных и антропогенных бедствий². Оптическое дистанционное зондирование наиболее часто используется для оценки влажности почвы.

¹ ArcReview // Esri CIS. URL: <https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/all.php> (date of access: 25.07.2024) ; GIS-Lab. Географические информационные системы и дистанционное зондирование. URL: <https://gis-lab.info/> (дата обращения: 22.07.2024).

² Chervan A. N., Kindeev A. L., Sazonov A. A. Soil Cover Patterns and Pedo- and Biodiversity of the Berezinsky Biospheric Reserve // Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55. № 10. P. 1348–1359. DOI: 10.1134/S1064229322100027 ; Assessment framework of water conservation based on analytical modeling of ecohydrological processes / G. Zhang [et al.] // J. of Hydrology. Vol. 630, Feb. 2024. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130646> (date of access: 17.04.2024).

Тепловое инфракрасное дистанционное зондирование чаще всего используется для оценки влажности и засоленности¹. Радиометрическое разрешение изменяется от 3,5 до 14 мкм. Содержание влаги в основном определяется методом термической инерции и методом индекса температуры или растительности. Несмотря на то что тепловое инфракрасное дистанционное зондирование имеет много областей применения, его потенциальное использование для мониторинга почвы малоизучено.

Гиперспектральная съемка характеризуется использованием более 10 узких зон спектра. Ключевой характеристикой данных гиперспектральных изображений является высокое спектральное разрешение. Каждый пиксель в гиперспектральном изображении связан с сотнями точек данных, которые представляют спектральную подпись материалов в пространственной области пикселя. В результате получается трехмерный набор данных, который имеет две оси пространственной информации и одну ось спектральной информации. Высокое разрешение гиперспектральных изображений позволяет однозначно идентифицировать различные материалы на поверхности Земли. Большое количество спектральных полос допускает непосредственную идентификацию минералов в поверхностных почвах.

Съемка в микроволновом диапазоне является эффективным методом картографирования влажности и солености почвы в любых погодных условиях. Данный вид съемки имеет преимущества в таких условиях, как соленые зоны, песчаные прибрежные и пустынные зоны, заболоченные районы и места с нерегулярным микрорельефом (например, корки и комковатые поверхности). Существует два метода съемки: активное зондирование и пассивное зондирование. Прогресс в картографировании региональной влажности почвы был достигнут с помощью активных микроволновых датчиков. Мощность полученного сигнала сравнивается с тем, который был отправлен для определения коэффициента обратного рассеяния поверхности, чувствительного к влаге почвы. Наиболее распространенной активной микроволновой конфигурацией является рентгеновская система с синтезированной апертурой. Активные датчики хотя и могут обеспечить высокое пространственное разрешение порядка десятков метров, но имеют низкое временное разрешение (1 месяц). В свою очередь, космические пассивные системы могут обеспечивать пространственные разрешения только порядка десятков километров, но с более высоким временным разрешением. Пассивная съемка в микроволновом диапазоне может использоваться для мониторинга влажности почвы. Эти датчики измеряют интенсивность микроволнового излучения от почвы, которая пропорциональна яркостной температуре (равна произведению температуры поверхности и ко-

¹ Zhao B., Chervan A. Spatial Distribution of Soils by Salinization Level in Soligorsk District of Belarus // Природ. ресурсы. № 1. 2024. С. 5–12.

эффициента излучения). Из-за дифференциального поведения реальной и мнимой частей диэлектрической проницаемости почвы микроволновая съемка также эффективна при обнаружении засоленности почвы. В то время как реальная часть не зависит от солености и щелочности почвы, мнимая часть чувствительна к изменениям электропроводности почвы, но не имеет никакого отношения к изменениям щелочности. Это позволяет отделить засоленные почвы от других видов почв.

С целью автоматизированного дешифрирования по ДДЗ непосредственно почв, а не их отдельных частей используют методы неконтролируемой классификации многоканальных изображений на заданное число классов с их последующей тематической интерпретацией. Каждому классу приписывают соответствующее ему название почвы в принятой классификации. Как правило, точность данных подходов не очень высока. Получаемые на их основе карты отдельных свойств почв могут быть использованы в качестве дополнительной информации при построении ЦПК.

Следует отметить, что по аэроснимкам сравнительно хорошо и достоверно поддаются интерпретации факторы почвообразования (рельеф, растительность, производственная деятельность человека), несколько хуже – видимые на снимках внешние характеристики почвенного покрова (цвет, содержание гумуса в верхнем слое почв, гранулометрический состав и влажность почв). Высокая разрешающая способность современных приборов позволяет проанализировать и использовать для составления ЦПК значительный объем информации о характере и пространственном распределении видов целевого назначения земельных участков, влияющих на проведение полевых почвенных исследований и составление почвенных баз данных. В табл. 2.9 приведены подходы к использованию ДДЗ при составлении ЦПК. Анализ факторов почвообразования по снимкам всегда более точен, более детален, чем по топографическим картам, а границы, получаемые при анализе факторов почвообразования, в подавляющем большинстве после полевой проверки становятся границами почвенных таксономических единиц.

Кроме того, во всех подходах подразумевается наличие полевых данных о почвах и (или) априорных знаний о специфике географии почв региона исследований. Ни один из подходов не предусматривает составление почвенной карты только по результатам анализа ДДЗ. Это связано с тем, что лишь в редких случаях возможно дешифрирование по ДДЗ всех почв региона исследований. Доля дешифрируемых почв максимальна в подходах, базирующихся на визуальном дешифрировании, и минимальна в подходах, основанных на дешифрировании отдельных свойств почв.

Отражательная способность почв также недостаточно изучена. Имеющиеся библиотеки спектров отражения почв, как правило, характеризуют предварительно обработанные образцы почв (высушенные, измельченные до заданного размера, выровненная поверхность). Однако в естествен-

ных условиях на светоотражение почв оказывают влияние такие факторы, как влажность почв, шероховатость ее поверхности, а также особенности трансформации поверхности почв под воздействием атмосферных условий. Данные факторы могут значительно изменять специфику отражения волн поверхностью почв, однако в настоящее время эти процессы также недостаточно изучены.

Таблица 2.9

**Специфика подходов к использованию ДДЗ
для составления почвенных карт**

Подход	Преимущества	Недостатки
Визуальное дешифрирование почв по ДДЗ	Максимальное задействование экспертных знаний почвовед-дешифровщика; возможность визуальной «фильтрации» неоднородностей изображения, не связанных с СПП	Высокая трудоемкость и неоперативность; субъективность и неточность наведения границ почвенно-географических выделов
Автоматизированное дешифрирование почв по ДДЗ	Оперативность, воспроизводимость	Не все почвы могут быть отдешифрированы; проблемы с автоматической фильтрацией неоднородностей, не связанных с почвами; влияние на результат свойств почв и растительности, не важных для составления карт
Дешифрирование отдельных свойств почв и использование их при составлении карт	Возможность получения данных о реальной географии отдельных свойств почв; оперативность, воспроизводимость	Не все необходимые свойства почв могут быть отдешифрированы; слабая изученность связи свойств поверхности почв со свойствами профиля; короткие периоды открытости почв для съемки
ДДЗ как часть технологии цифрового картографирования почв	Более объективная и актуальная информация о свойствах поверхности почв и факторах почвообразования; оперативность; получение статистической оценки точности создаваемых карт	Невозможность переноса установленных связей «ДДЗ – почва» на другие регионы; ограниченность выбора ДДЗ необходимого пространственного разрешения и срока съемки

Использование характера изображения растительности в соответствии с ДДЗ как дешифровочного признака почв ограничивается недостаточной изученностью ее индикационной роли по отношению к почвам, а также ее динамичностью, связанной как с антропогенным воздействием, так и с естественными процессами. В некоторых случаях естественная растительность может достаточно точно идентифицировать почвы.

Таким образом, несмотря на длительную историю использования спутниковых данных для составления почвенных карт, их применение до сих пор ограничено недостаточной проработанностью методов. Наиболее важной проблемой является то, что на почвенных картах отображаются классификационные выделы почв, в то время как на характер изображения почв на спутниковых данных в большей степени влияют свойства поверхностного горизонта, которые не важны для определения положения почв в той или иной классификации. Слабо изучены спектральная отражательная способность поверхности почв, специфика ее формирования, динамики во времени и ее связь со свойствами почв. Также недостаточно исследованы связи свойств почв и свойств нижележащих генетических горизонтов. Эти связи имеют региональные особенности, без их установления прямое дешифрирование классификационного положения почв по ДДЗ невозможно.

Идентифицируемые критерии состояния почвенного покрова должны обеспечивать точность разработки тематических классификаторов, создаваемых в результате процедуры обучения в ходе дешифрирования ДДЗ¹. Процедура обучения классификаторов подразумевает создание одновременно некоторой базы знаний и базы данных по природным условиям изучаемых территорий. Классификатор может быть обучен исходя из априорно известных значений, которые соответствуют определенному почвенному таксону, или посредством создания обучающих выборок непосредственно на снимке. Для создания классификатора необходимы обучающие выборки (сигнатуры), автоматизированное информационное обеспечение которых возможно с привлечением баз топографических данных, сведений ЗИС (особенно цифровых почвенных слоев) и геопортала². Критерии состояния почвенного покрова, которые могут быть использованы с целью обоснования сигнатур в тематических классификаторах растительности, должны обладать репрезентативностью – соответствием спектрального образа участка изображения какому-либо объекту либо его свойству. Репрезентативность обучающей выборки достигается при выполнении следующих условий:

- достаточная площадь – площадь выборки должна включать в себя хотя бы несколько десятков пикселей для формирования спектрального образа, реально соответствующего объекту;

¹ Савин И. Ю. Анализ почвенных ресурсов на основе геоинформационных технологий : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук.

² Геопортал земельно-информационной системы Республики Беларусь. URL: <http://gismap.by/> (дата обращения: 25.04.2024).

- множественность выборок – для одного и того же класса объектов по возможности следует создавать несколько выборок для обеспечения устойчивости дешифровочных признаков при автоматизированной классификации;
- устойчивость значений спектральной яркости между каналами изображения – предполагает относительно стабильный набор спектральных признаков по различным каналам изображения. Если в одном спектральном канале значения яркости обучающих выборок практически совпадают, а в другом кардинально расходятся, то можно предположить, что выборки представляют собой объекты с различными свойствами. В этом случае целесообразно разделение класса на субклассы с созданием соответствующих выборок;
- спектральная однородность выборки – подразумевает отсутствие значительных спектральных колебаний внутри выборки, что в итоге может привести к искажению спектрального образа того или иного таксона почвы.

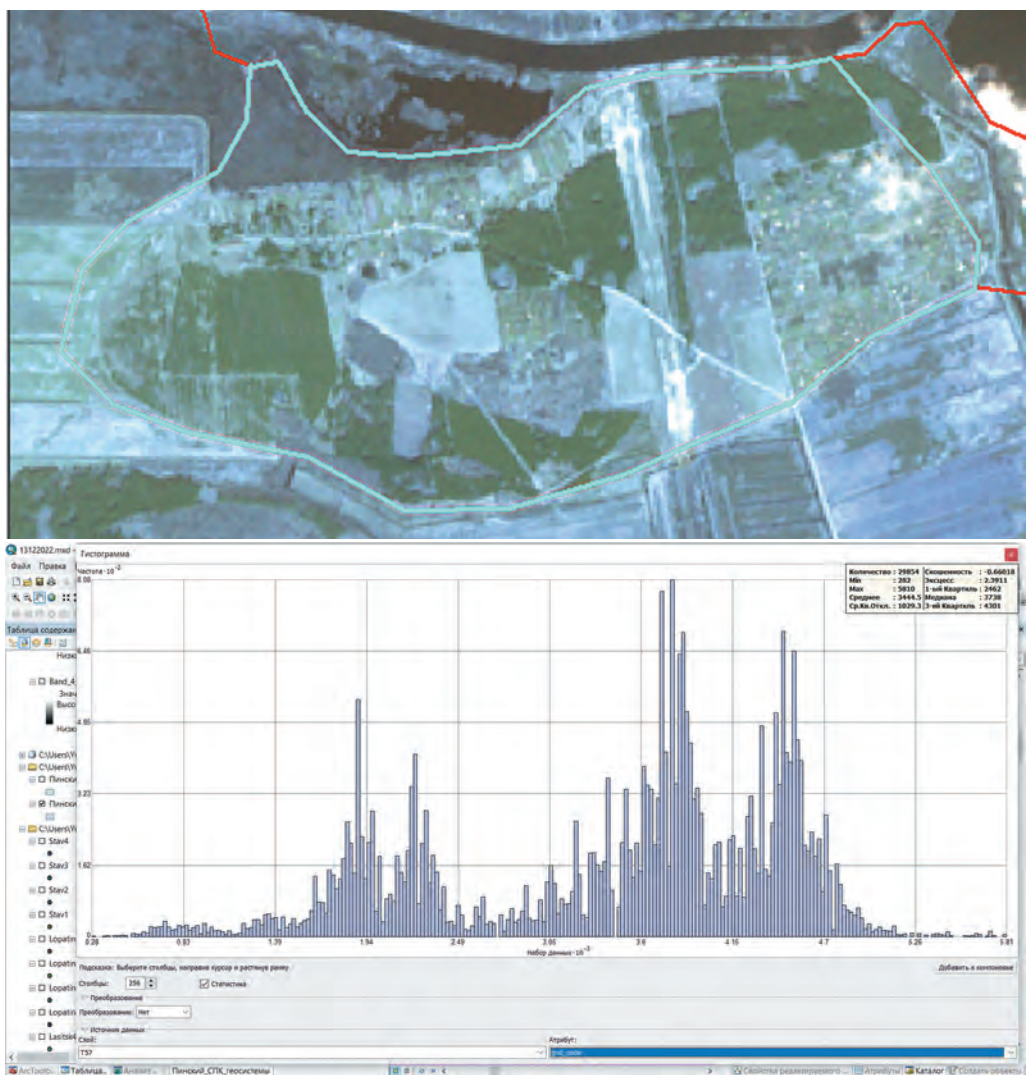
Репрезентативность обучающих выборок обеспечивается крупномасштабным ЦПК и типологической принадлежностью почвенных таксонов на разных уровнях классификации¹. Это определяет возможность повысить репрезентативность выборок, исключив из классификатора нетипичные и случайные для классов значения. После корректировки обучающих выборок еще раз рассчитываются статистические показатели и выполняется анализ.

На рис. 2.19, 2.20 представлены примеры геостатистических вариограмм результатов использования мультиспектральных снимков в идентификации почвенных комбинаций². Критерии отнесения пикселей или сегментов (при объектно ориентированной классификации) к тому или иному классу задаются при помощи пороговых значений спектральной яркости.

Формализация дешифровочных признаков подразумевает определение пороговых значений для каждого класса, который зависит от четкости пространственных границ объекта. В данном случае ЦПК может являться хорошим жестким разграничителем природных условий произрастания растительности (и наоборот) и формирования соответствующих пороговых значений спектральной яркости. Для формирования мозаики индексных мультиспектральных изображений создается предварительный набор данных снимков с космических летательных аппаратов Landsat-8/9 OLI TIRS и Sentinel 2A в соответствии с оптимальными сроками аэрокосмических съемок растительного и почвенного покрова.

¹ Курлович Д. М., Жуковская Н. В., Ковалевская О. М. ГИС-технологии : учеб.-метод. пособие.

² Червань А. Н., Давидович Ю. С. Типология геосистем Белорусского Полесья // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. № 3. 2024.



*Рис. 2.19. Идентификация почвенных комбинаций
выпуклых высоких водоразделов на рыхлых
почвообразующих породах по мультиспектральным ДДЗ*

Для формирования индексных изображений мозаики используются данные коллекции Landsat-8/9 второго уровня, которая включает в себя как спутники Landsat-8, так и последние спутники Landsat-9, оснащенные оперативным датчиком изображения земли (OLI) и инфракрасным тепловым датчиком (TIRS), обеспечивающими сезонное покрытие глобального массива суши. Второй уровень Landsat-8/9 предоставляет глобальные научные данные по отражательной способности и температуре поверхности Земли. Информация о каналах спутниковой системы Landsat-8/9 представлена в табл. 2.10.

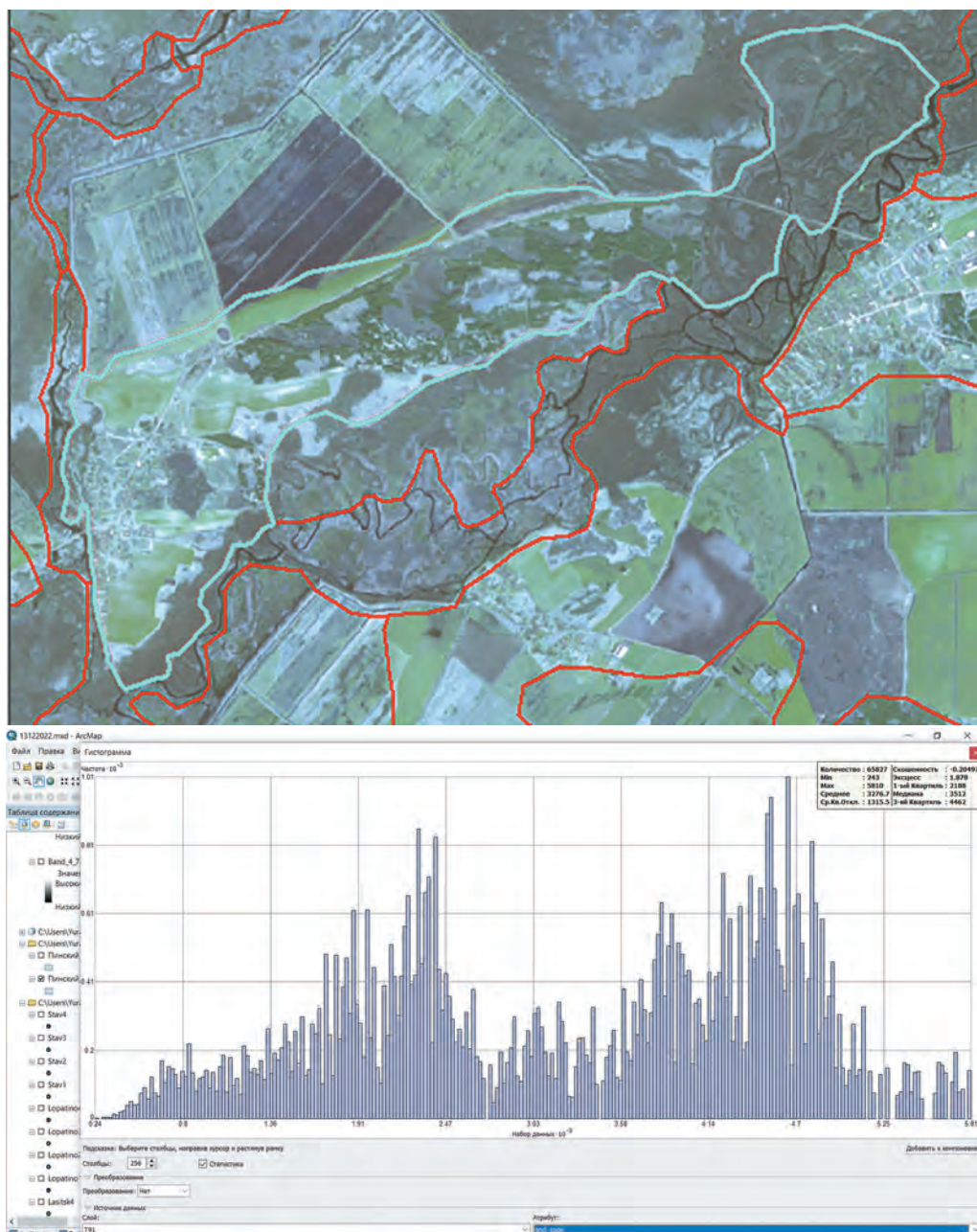


Рис. 2.20. Идентификация почвенных комбинаций останков первой надпойменной террасы высокого уровня на рыхлых почвообразующих породах по мультиспектральным ДДЗ

Таблица 2.10

Информация о каналах спутников Landsat-8/9

Канал	Описание	Пространственное разрешение, м
B01	Ультрасиний (443 нм)	30
B02	Синий (482 нм)	
B03	Зеленый (561,5 нм)	
B04	Красный (654,5 нм)	
B05	Ближний инфракрасный (865 нм)	
B06	Короткий инфракрасный 1 (1608,5 нм)	
B07	Короткий инфракрасный 2 (2200,5 нм)	
B10	Тепловой инфракрасный 1 (10 895 нм)	

Тепловой инфракрасный канал регистрируется с разрешением 100 м, но в доставленном информационном продукте передискретизируется до 30 м.

В формировании индексных изображений мозаики целесообразно использовать данные спутниковой системы Sentinel-2A/2B. Система Sentinel-2 – семейство спутников ДЗЗ Европейского космического агентства, созданное в рамках проекта глобального мониторинга окружающей среды и безопасности Copernicus. Спутники предназначены для мониторинга использования земель, растительности, лесных и водных ресурсов, также могут применяться при ликвидации последствий стихийных бедствий. Спутники Sentinel-2 имеют 11 спектральных каналов (табл. 2.11). Пространственное разрешение четырех основных каналов (Blue, Green, Red, NIR) составляет 10 м. Тепловые каналы, ближний инфракрасный, а также красный край имеют разрешение 20 м. Наименьшее пространственное разрешение характерно для каналов, ориентированных на изучение водяного пара в атмосфере, прибрежных аэрозолей и облачности; данные каналы обладают пространственным разрешением 60 м. Отсутствует панхроматический канал. Временное разрешение спутников Sentinel-2 составляет пять дней. Это достигается за счет двух спутников, работающих вместе. Временное разрешение одного спутника Sentinel-2 составляет 10 дней.

Таблица 2.11

Спектральное и пространственное разрешение спутников Sentinel-2A/2B

Каналы Sentinel-2	Sentinel-2A		Sentinel-2B		Пространственное разрешение, м
	Центральная длина волны, нм	Ширина полосы, нм	Центральная длина волны, нм	Ширина полосы, нм	
Band 1 – Coastal aerosol	442,7	21	442,2	21	60
Band 2 – Blue	492,4	66	492,1	66	10

Каналы Sentinel-2	Sentinel-2A		Sentinel-2B		Пространственное разрешение, м
	Центральная длина волны, нм	Ширина полосы, нм	Центральная длина волны, нм	Ширина полосы, нм	
Band 3 – Green	559,8	36	559,0	36	10
Band 4 – Red	664,6	31	664,9	31	10
Band 5 – Vegetation red edge	704,1	15	703,8	16	20
Band 6 – Vegetation red edge	740,5	15	739,1	15	20
Band 7 – Vegetation red edge	782,8	20	779,7	20	20
Band 8 – NIR	832,8	106	832,9	106	10
Band 8A – Narrow NIR	864,7	21	864,0	22	20
Band 9 – Water vapour	945,1	20	943,2	21	60
Band 10 – SWIR – Cirrus	1373,5	31	1376,9	30	60
Band 11 – SWIR	1613,7	91	1610,4	94	20
Band 12 – SWIR	2202,4	175	2185,7	185	20

Используемые в ЦПК мультиспектральные снимки подвергаются процедурам предварительной обработки (радиометрическая и атмосферная коррекция) с применением программных продуктов SNAP, Envi 5.6 и ArcMap 10.8.

Нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) учитывает ближайший инфракрасный канал (NIR) и инфракрасный канал (RED) и рассчитывается по формуле

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED).$$

Индекс NDVI может принимать значения от –1 до 1; для растительности – положительные значения от 0,2 до 0,8.

Расчет температурно-вегетационного индекса засух (TVDI) для мониторинга увлажненности поверхности природных и антропогенных объектов производится для снимков Landsat-8/9, так как только для них доступен тепловой инфракрасный канал.

Для определения TVDI применяется метод треугольника, когда используется пространство $T_s/NDVI$, на основе которого оценивается влажность почвы. В рассматриваемом треугольнике верхний угол характеризуется отсутствием испарения, правый нижний угол соответствует максимальной транспирации. Максимальная сухость почвы отвечает значениям $TVDI = 1$, минимальная («влажный» край) – $TVDI = 0$.

Температурно-вегетационный индекс засух вычисляется следующим образом:

$$TVDI = \frac{T_s - T_{s_{\min}}}{T_{s_{\max}} - T_{s_{\min}}},$$

где T_s – температура поверхности; $T_{s_{\min}}$, $T_{s_{\max}}$ – минимальная и максимальная температура поверхности в треугольнике $T_s/NDVI$ соответственно.

Мозаики вегетационных мультиспектральных изображений позволяют создавать нормализованное индексное изображение отдельных признаков почв (рис. 2.21).

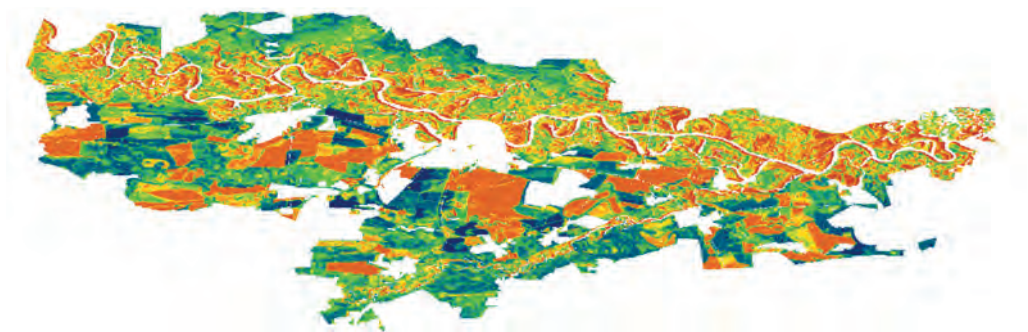


Рис. 2.21. Нормализованное индексное изображение территории ОАО «Туровское» в Житковичском районе Гомельской области

Результаты автоматизированной обработки вегетационного и температурно-вегетационного индексов по всем тестовым землепользователям учитываются в оценке культуртехнического состояния сельскохозяйственных земель и оценке возможной интенсивности отрасли растениеводства.

На фоне развития спутниковых технологий и появления новых типов данных наблюдается отставание в изучении почвенных связей и особенностей, а также спектральной отражательной способности почв. Это приводит к тому, что потенциальные возможности новых типов ДДЗ для картографирования почв остаются малоисследованными.

Анализ современного состояния спутниковых методов в почвоведении и тенденций их развития позволяет определить следующие наиболее перспективные направления исследований:

- установление количественных взаимосвязей в ряду «спектральная отражательная способность поверхности почв – свойства поверхности почв – свойства верхнего генетического горизонта почв – параметры иных генетических горизонтов почв», а также исследование закономерностей временной динамичности отражательных свойств поверхности почв;
- ревизия надежности индикационного значения растительного покрова для дешифрирования почв (необходимо уточнение, какие конкретные свойства почв количественно индицируются растительностью, насколько

достоверно границы растительных ассоциаций индицируют почвенно-географические границы);

- дальнейшее исследование потенциальных возможностей использования для дешифрирования почв новых видов дистанционного мониторинга (лазерной, радио-, микроволновой и других видов съемки) и разработка соответствующих методических подходов;

- поиск путей имитации компьютером работы почвовед-дешифровщика (наиболее перспективными представляются исследования в области создания компьютерных систем искусственного интеллекта, базирующихся на максимальной формализации визуальных подходов дешифрирования почв).

Исследования в данных направлениях позволят совершить переход от научных экспериментов и попыток регионального практического внедрения их результатов к созданию систем компьютерного картографирования почв, базирующихся на принципах ЦПК и использующих в качестве основного источника информации спутниковые данные.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные источники информации при создании почвенной базы данных.

2. Какие требования применяются к структуре и логической модели базы почвенных данных?

3. Назовите основные функции анализа информации в почвенных базах данных.

4. Для чего используется векторно-растровая трансформация в геообработке почвенных данных?

5. В чем заключается особенность реляционной базы почвенных данных?

6. Какие тематические информационные блоки может предусматривать база почвенных и земельно-кадастровых данных?

7. Назовите параметры оценки почвенно-агрохимического потенциала земельных участков.

8. Каким образом определяется целесообразность интенсификации сельскохозяйственного производства с использованием цифрового почвенного картографирования?

9. Назовите примеры соблюдения топологии в классах пространственных почвенных данных.

10. Укажите основные направления использования данных дистанционного зондирования в задачах цифрового почвенного картографирования.

11. Приведите примеры зарубежных почвенных информационных систем.

12. Назовите преимущества автоматизированной геообработки почвенных данных для целей типологии земель сельскохозяйственного назначения.

13. Дайте определение прогнозного почвенного картографирования.

14. Какие виды дистанционной съемки используются для идентификации почвенных признаков и свойств?

15. Какие специальные почвенные карты применяются в настоящее время в землеустроительной практике и документах территориального планирования?

3. ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Приведем основные термины, используемые в геостатистике.

Вариограмма – функция, описывающая различия (дисперсию) между опорными точками, отстоящими на различном расстоянии. Чаще всего вариограмма показывает низкую дисперсию для малых различий и большую дисперсию для большего расстояния разделения, указывая на то, что почвенные данные пространственно автокоррелированы¹. Вариограммы, оцененные по опорным данным, являются эмпирическими. Они представляют собой набор точек на графике.

Имитация – метод, который расширяет возможности кригинга посредством создания множества возможных версий интерполируемой поверхности (кригинг же создает только одну поверхность). Набор интерполируемых поверхностей предоставляет возможность использовать сведения, которые могут применяться для описания неопределенности интерполируемого значения для конкретного положения, неопределенности для набора интерполируемых значений в области интереса или набора интерполируемых значений, которые могут использоваться в качестве входных данных для второй модели (физические, экономические и т. п.) для оценки рисков и принятия обоснованных решений.

Геостатистические методы – методы, основанные на статистических моделях, которые включают автокорреляцию (статистические отношения между измеренными точками). Такие методы имеют возможность создавать поверхности интерполяции, а также измерять неопределенность (ошибки), связанную с интерполяцией.

Геостатистический слой – результаты работы геостатистического блока и множества инструментов геообработки. Используются для создания карт результатов, просмотра и исправления значений параметров метода интерполяции, создания других типов геостатистических слоев (например, карт ошибок интерполяции) и экспорта результатов в растровый или векторный (изолинии, контуры с заливкой и точки) формат.

Детерминированные методы – методы, которые создают поверхности по измеренным точкам на основании степени общности (например, метод обратных взвешенных расстояний) или степени сглаживания поверхности (например, радиальные базисные функции). Они предоставляют меру неопределенности (ошибок) интерполяции.

Изокорреляты – линии, соединяющие точки с одинаковыми значениями коэффициентов корреляции.

¹ Демьянов В. В., Савельева Е. А. Геостатистика: теория и практика / под ред. Р. В. Арутюняна ; Ин-т проблем безопас. развития атом. энергетики РАН. М., 2010.

Интерполяция – процесс, который использует измеренные значения в известных опорных точках с целью прогнозирования (оценки) значения для тех точек, где измерения не проводились. Выделяют несколько методов интерполяции, которые различаются допущениями, требованиями к данным и возможностью создавать различные типы выходных данных (например, карты проинтерполированных значений, а также карты ошибок (неопределенности)).

Кластер – область повышенной плотности точек измерений пространственной функции.

Кригинг – набор методов интерполяции, необходимых при выполнении интерполяции на модели вариограммы пространственной автокорреляции, учитывающих ошибки, связанные с интерполяцией, и другую информацию, касающуюся распределения возможных значений для каждого местоположения в изучаемой области (посредством карт квантилей и карт вероятностей или с помощью геостатистического моделирования, предоставляющего набор возможных значений для каждого местоположения).

Кросс-валидация – наиболее простой и часто используемый метод подбора оптимальных параметров модели интерполяции с помощью оценки значения в точке измерения без учета самого измерения в этой точке.

Окрестность поиска – количество ближайших опорных точек и их пространственная конфигурация в скользящем окне для дальнейшей интерполяции.

Перекрестная проверка – метод оценки точности интерполяционной модели. В модуле Geostatistical Analyst в среде ArcGIS перекрестная проверка пропускает одну точку и использует остальные для интерполяции значения в таком положении. Затем эта точка возвращается в набор данных, а другие удаляются. Действие выполняется для всех опорных точек в наборе данных, и в результате предоставляется пара ожидаемых и известных значений, которые могут использоваться для оценки качества модели. Результаты, как правило, выводятся со средними и среднеквадратическими ошибками.

Пространственная автокорреляция – природное явление, представляющее собой пространственные изменения, когда значения близких друг к другу опорных точек более схожи, чем значения точек, находящихся далеко друг от друга. Некоторым методам интерполяции необходима явная модель пространственной автокорреляции (например, кригинг), другие основаны на предполагаемой степени пространственной автокорреляции без предоставления средств измерения (например, метод обратных взвешенных расстояний), а другим не требуется никаких представлений о пространственной автокорреляции в наборе данных.

Современная геостатистика – это быстро развивающаяся область прикладной статистики с набором методов, линейных и нелинейных, параме-

трических и непараметрических моделей для анализа, обработки и представления пространственной информации. ГИС-анализ, предполагающий поиск пространственных взаимоотношений между объектами исследования с использованием средств геоинформационных технологий, включает следующие виды геообработки векторных данных:

- элементарный пространственный анализ – просмотр векторных геообъектов, анализ их атрибутов, картометрические измерения, составление тематических картограмм, картодиаграмм, картосхем, графиков и диаграмм по атрибутам векторов;
- пространственная статистика – статистическая обработка атрибутов, описательная статистика выборки, работа с базами атрибутивной информации;
- расширенный пространственный анализ – оверлейные операции, анализ близости, переклассификация и районирование, генерализация, геообработка;
- сетевой анализ – не используется для анализа и моделирования почвенных данных.

Растровый анализ почвенных и сопутствующих данных включает:

- интерполяцию раstra – вычисление неизвестных значений любых географических точечных данных;
- анализ поверхностей – построение изолиний, расчет морфометрических характеристик (рис. 3.1);
- картирование плотности – пространственное распределение векторных объектов;
- картирование расстояний – пространственная взаимосвязь.

Таким образом, при ГИС-анализе проводится анализ свойств компонентов природных экосистем, географических характеристик, параметров природопользования, результатом которого являются карты показателей свойств почв, выраженных в абсолютных единицах измерения, или карты экспертных оценок. В ходе моделирования производится построение прогнозных пространственных и временных карт почвенного покрова, отдельных почвенных показателей, природных факторов и их свойств.

Растровая и векторная геообработка почвенных данных часто включает интерполяцию, применяемую для следующих видов аналитических работ:

- построение грид-моделей по основным химическим свойствам почв (доля органического углерода и других химических элементов, карбонатов, pH, водорастворимых солей, поглощенных катионов), а также содержание гумуса;
- проведение анализа эрозионной опасности и получение информации о проявлении эрозионных процессов;
- создание схем распространения радионуклидов и других факторов землепользования.

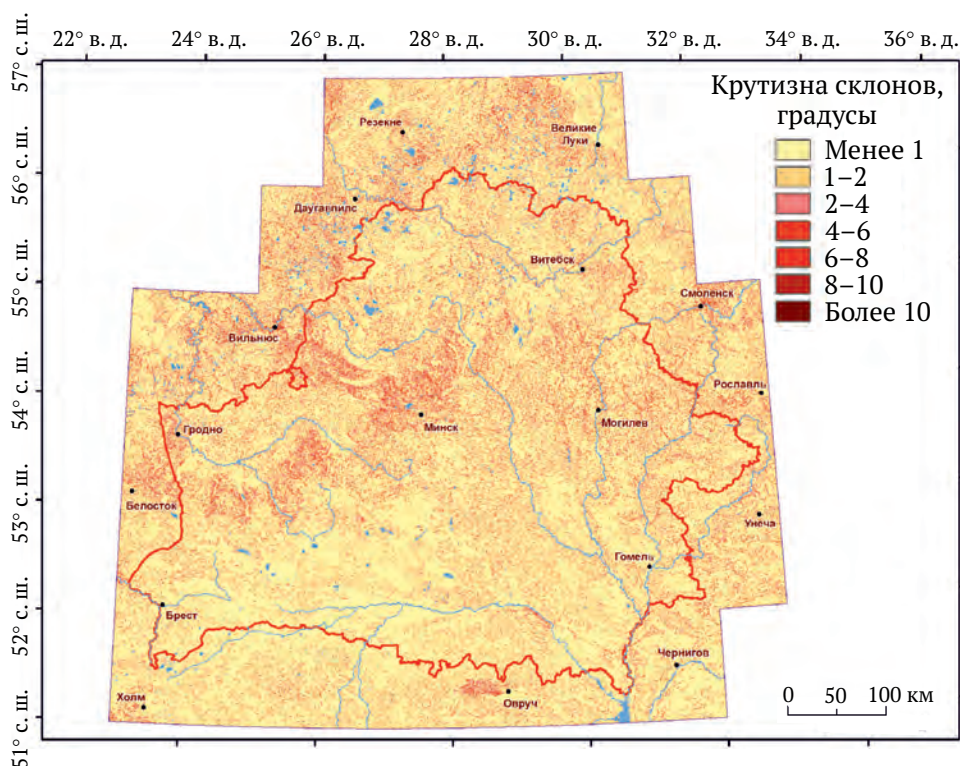


Рис. 3.1. ГИС-анализ морфометрических показателей.
 Источник: Курлович Д. М. ГИС-анализ и моделирование :
 учеб.-метод. пособие. Минск, 2018

Отличие пространственной статистики от традиционной (пространственной или непространственной) состоит в том, что первая интегрирует пространство и пространственные отношения непосредственно в вычисления. В связи с этим необходимо выбрать общую концептуальную модель пространственных отношений, которая будет использоваться для анализа. Различают пять концептуальных моделей пространственных отношений:

- 1) близко расположенные соседние объекты оказывают большее влияние на вычисления для целевого объекта, чем удаленные объекты;
- 2) близко расположенные соседние объекты оказывают большее влияние на вычисления для целевого объекта, чем удаленные объекты, однако угол наклона острее, влияние объектов уменьшается быстрее, и только ближайшие соседи оказывают существенное влияние;
- 3) каждый объект анализируется в контексте соседних объектов в пределах указанного порогового расстояния, за пределами которого влияние соседних объектов не учитывается;
- 4) объекты в пределах указанного порогового расстояния оказывают влияние на вычисления для целевого объекта, а влияние объектов за его пределами постепенно уменьшается;

5) пространственные отношения определены путем вычисления матрицы пространственных весов.

Инструменты интерполяции почвенных данных делятся на детерминированные и геостатистические методы.

Детерминированные методы присваивают значения местоположениям, основываясь на измеренных эмпирическим путем значениях, попадающих в окрестность интерполируемой точки, и на заданных математических формулах, которые определяют сглаженность результирующей поверхности. К ним относят метод обратно взвешенных расстояний, метод сплайна и др.

Геостатистические методы основываются на статистических моделях, включающих анализ автокорреляции (статистических отношений между измеренными точками). В результате этого геостатистические методы не только имеют возможность создавать поверхности прогнозируемых значений (например, содержания питательных элементов в гумусово-аккумулятивном горизонте почвы), но и предоставляют оценку достоверности (точности) прогнозируемых значений. К подобным методам относят кригинг.

Особо выделяется инструмент «Топо в растр», использующий метод интерполяции, разработанный для создания непрерывных поверхностей по горизонталям, для целей гидрологического ГИС-анализа и моделирования.

Картографическая генерализация почвенного покрова – это выделение и отображение на карте наиболее существенных для целей картографирования особенностей строения почвенного покрова, выявление закономерностей взаиморасположения мелких почвенных контуров и определение их места в СПП.

При наличии множества мелких по площади ЭПА, не поддающихся нанесению на карту в данном масштабе, выделяются сложные почвенные контуры, где основной фон составляют преобладающие почвы. Однотипные мелкоареальные почвы, входящие в выделенный контур, показывают условными знаками, характеризующими их место в СПП и доли (процент) от площади контура.

При генерализации меняется и легенда, и контуры выделов. Обобщение качественных характеристик легенды рекомендуется выполнять путем перехода от простых (дробных) понятий, а обобщение количественных показателей – с помощью укрупнения интервалов в шкалах. При генерализации часть информации безвозвратно утрачивается: на снимках пропадают пиксели иного цвета, на картах выпрямляются изрезанные контуры, извилистые изолинии (рис. 3.2). На передний план выходят определенные элементы.

Для генерализации контуров почвенных таксонов при составлении почвенных карт применяются следующие методы:

- метод преобладающей почвы, или классификационный, – состоит в объединении ЭПА, близких по классификационному положению, в контур, получающий наименование от более таксономически высокой классификационной единицы. При использовании этого метода генерализа-

ции карта дает сведения о доминирующей почве в показанном на карте контуре;

- метод компонентов почвенного покрова – предусматривает учет наряду с компонентами СПП соотношения площадей, занимаемых отдельными почвами, объединенными в один контур. При использовании этого метода генерализации карта дает сведения обо всех компонентах СПП;

- метод структуры почвенного покрова – заключается в анализе состава и характеристики взаимосвязей мелких однотипных ареалов почвенного покрова и закономерностей их размещения в доминирующей мезоструктуре СПП. На карте отображаются контуры границ почвенных комбинаций, например сочетаний. При использовании данного метода генерализации карта дает дополнительные сведения о характере связей между компонентами почвенного покрова, его сложности и контрастности. От точности определения СПП зависит информативность почвенных карт, как мелкомасштабных, так и крупномасштабных.

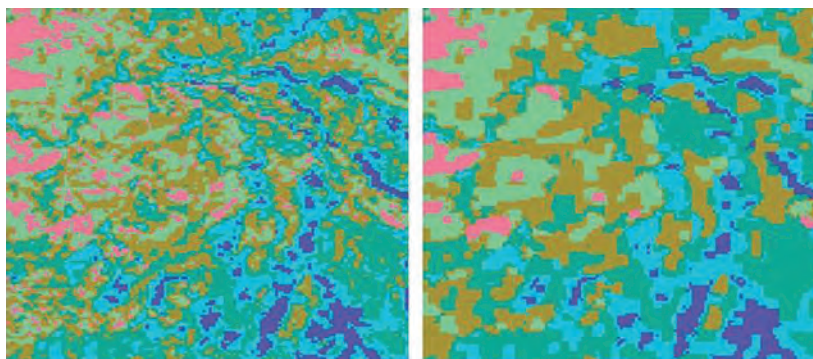


Рис. 3.2. Генерализация почвенного покрова.

Источник: Клебанович Н. В., Сазонов А. А., Червань А. Н.
Почвенное ГИС-картографирование : практикум для студентов
фак. географии и геоинформатики. Минск, 2019

В связи с учетом ценза отбора, традиционно принятым для почвенных карт, – $0,5 \text{ см}^2$ – на районной почвенной карте не должно быть почвенных контуров размером менее 6 га. Только два типа почв (дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные) можно отразить на районных картах относительно достоверно. Контуры остальных типов почв в той или иной степени должны подвергнуться как геометрической, так и классификационной генерализации, что приведет к неизбежному укрупнению таксонов легенды. Наибольшую сложность в отображении на районных почвенных картах, кроме ЭПА, не попадающих под ценз отбора, вызывают контуры с высокими (менее 0,2) значениями коэффициента изрезанности границ (вытянутые и разветвленно-ассиметричные контуры): дерново-подзолистых временно избыточно увлажненных и глееватых почв, дерновых глееватых и глеевых, аллювиальных дерновых глееватых и глеевых.

Моделирование почвенных данных и геостатистический анализ почвенного покрова предусматривают методы геостатистического анализа гео-данных (рис. 3.3).

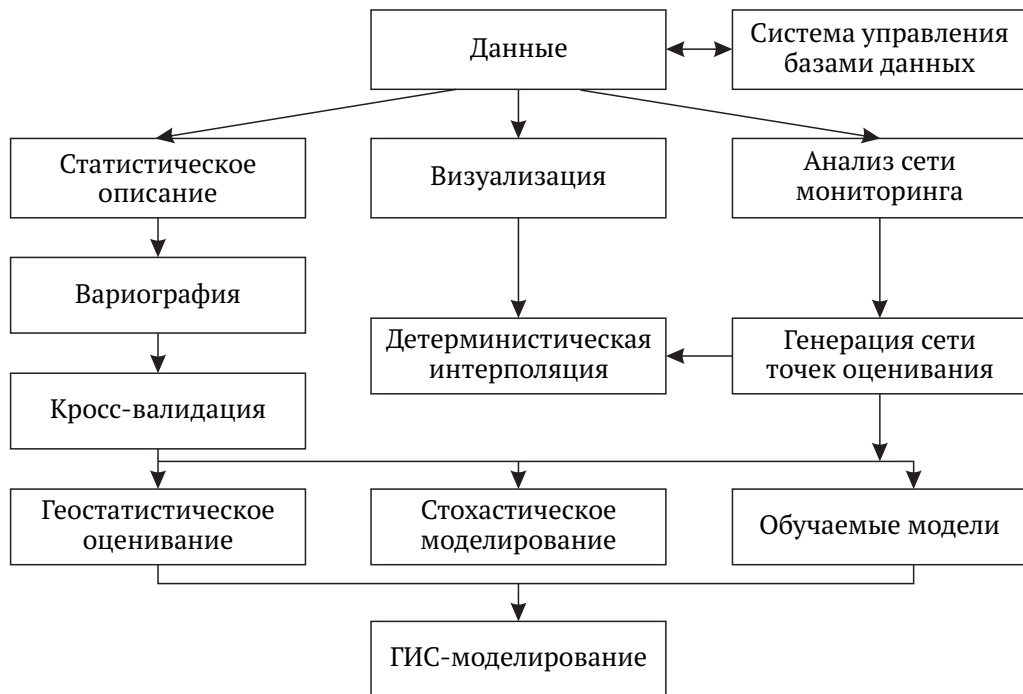


Рис. 3.3. Схема методологии анализа и моделирования пространственно распределенных почвенных данных

С использованием ГИС доступны четыре основные группы моделирования почвенных данных: семантическое, инвариантное, эвристическое и информационное.

Семантическое моделирование взаимосвязано с задачами кодирования и лингвистического обеспечения и выполняется в процессе сбора геопространственной информации, ее структурирования и поиска ошибок.

Инвариантное моделирование основано на работе с полностью или частично унифицированными информационными элементами или структурами и предусматривает использование общих свойств моделируемых объектов (свойств типов или классов) независимо от специфических характеристик отдельных объектов. Данный вид ГИС-моделирования применяется при работе с базами геопространственных почвенных данных. Использование ПК на основе геосистемного подхода к СПП в качестве инварианта состояния компонентов природной среды целесообразно в землеустройстве и практике территориального планирования.

Эвристическое моделирование используется при необходимости принятия экспертных решений, учете дуальных свойств объектов на видео-

изображениях и решении специальных нетиповых задач и реализуется посредством использования возможностей машинного обучения.

Информационное моделирование связано с созданием и преобразованием различных форм информации (графической, текстовой) в вид, задаваемый пользователем, и реализуется посредством создания подсистемы документационного обеспечения.

Процесс ГИС-моделирования представляет собой последовательное прохождение четырех этапов: определение цели модели, разбиение модели на элементы и определение свойств каждого элемента и взаимодействия между элементами, внедрение и калибровка модели, проверка модели на точность.

Имитационное моделирование основано на выборе оптимальных решений при анализе динамических систем, позволяющем смоделировать поведение объектов в системе посредством создания набора правил, согласно которым система переходит из одного состояния в другое.

Рассмотрим преимущества имитационного моделирования:

- возможность анализировать системы и находить решения в тех случаях, когда такие методы, как аналитические вычисления и линейное программирование, не справляются с поставленной задачей;
- более простой, чем у аналитической модели, способ разработки, поскольку процесс создания модели будет инкрементальным и модульным.
- схожесть структуры имитационной модели, которая естественным образом отображает структуру моделируемой системы;
- возможность отслеживать все объекты системы, учтенные в выбранном уровне абстракции, добавлять метрики и проводить статистический анализ;
- проигрывание модели во времени и анимирование ее поведения, что позволяет улучшить и упростить процесс верификации модели и нахождения ошибок.

Валидация – проверка качества работы модели с помощью данных, не использованных для ее настройки. При использовании той или иной модели интерполяции важно правильно подобрать значения модельно зависимых параметров. Для кригинга такими параметрами являются параметры модели вариограммы. При работе с полевыми почвенными данными не всегда удается сразу выбрать теоретическую модель экспериментальной вариограммы. Для проверки качества выбранной модели используют различные количественные методы: кросс-валидацию (cross-validation), метод складного ножа (jack-knife), бутстреп-моделирование (bootstrap).

Метод складного ножа является общим случаем кросс-валидации, когда оценивание проводится не в одной, а в нескольких точках измерений, данные о которых предварительно изымаются из рассмотрения. Метод бутстреп-моделирования состоит в оценке на основе случайных выборок из набора данных. Выбранная точка не изымается, она может попасть в выборку

несколько раз. Оценка проводится по оставшимся невыбранными точкам. Как правило, процедура выборки и оценки повторяется много раз.

Для визуализации кластерной структуры сети точек используется триангуляция Делоне – система треугольников с вершинами в точках измерений, непересекающимися ребрами и минимальным количеством тупоугольных треугольников. Триангуляция применяется для создания поверхности из точек, расположенных на нерегулярной сети (случайно, нерегулярно). Результатом триангуляции Делоне является создание TIN-модели (Triangulated Irregular Network) – векторного способа отображения поверхности. Такой способ визуализации позволяет качественно обособить области с повышенной плотностью измерений – кластерами. Кроме того, триангуляция Делоне строит систему соседства: точки, которые соединены друг с другом ребрами треугольников, являются ближайшими соседями по отношению друг к другу.

Триангуляция также является основой для построения простейшей линейной интерполяции, поскольку три точки в пространстве (вершины треугольников) однозначно определяют плоскость, в пределах которой значения функции вычисляются согласно геометрическим принципам.

С целью выявления наличия кластерных структур (сгущений), или разреженностей набора точек измерений, проводят анализ сети мониторинга. Простейшими методами такого анализа являются описания топологии сети с помощью гистограммы расстояний между точками и гистограммы площадей полигонов Вороного.

Гистограмма в данном случае – это график числа каких-либо событий (числа пар или числа полигонов), попавших в какой-либо интервал значений. При равномерном распределении точек в пространстве число пар должно быть одинаково для всех расстояний или уменьшаться при увеличении расстояния за счет граничного эффекта. Рост числа пар с ростом расстояния между точками свидетельствует о наличии кластеров.

Гистограмма площадей полигонов для регулярной сети должна представлять собой дельта-функцию (один пик), поскольку все полигоны одного размера. Любые искажения (широкий пик, длинный хвост, несколько пиков) означают присутствие каких-либо особенностей в наборе точек измерений.

Еще одним методом, позволяющим выполнить анализ сети мониторинга, является статистический подход, рассматривающий точки измерений как случайный точечный процесс. Охарактеризовать распределение точек (пунктов мониторинга) возможно с использованием статистических индексов. Примером такого подхода является диаграмма Мориситы¹.

Данный индекс характеризует вероятность того, что при выборе двух случайных точек наблюдений они окажутся в одной ячейке. Диаграмма Мориситы представляет собой зависимость индекса Мориситы (I_M) от размера ячейки разбиения.

¹ Демьянов В. В., Савельева Е. А. Геоestatистика: теория и практика.

Существует три типа диаграммы Мориситы, которые отражают сеть мониторинга, или точек опробования:

1) если на диаграмме величина I_m с ростом размера ячейки также возрастает и стремится к единице, тогда распределение точек наблюдений сети мониторинга является равномерным;

2) если на диаграмме величина I_m не зависит от размера ячейки и примерно равна единице, то распределение точек наблюдений сети мониторинга случайно и не имеет кластерных структур;

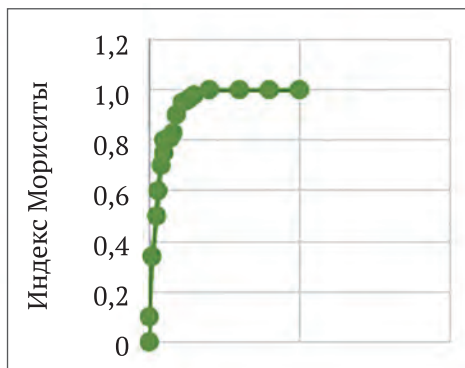
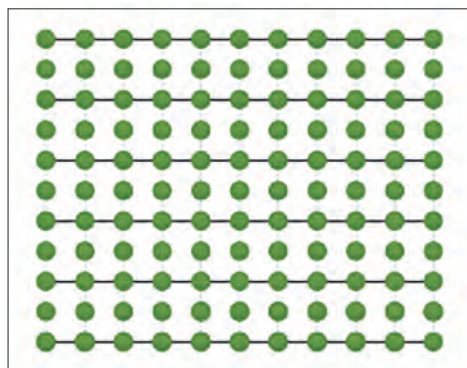
3) если на диаграмме величина I_m с ростом размера ячейки уменьшается или растет выше единицы, то распределение точек сети мониторинга кластерное и требует декластеризации.

На рис. 3.4 представлены типы диаграммы Мориситы, где a – нормальная (гладкая) логарифмическая кривая; b – кривая Мориситы изобилует точками перегиба, которые характеризуют количество и размеры различных кластеров; c – несколько четко выраженных кластеров, кривая Мориситы имеет более гладкий вид и уменьшается, стремясь к единице. Размер кластеров в данном случае характеризуют точки изменения кривизны.

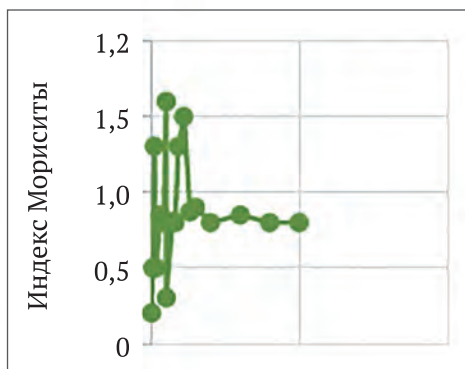
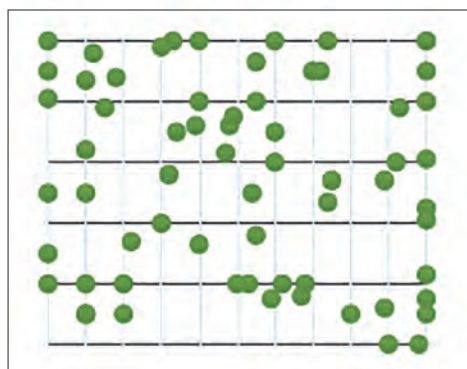
В случае кластеризации геоданных необходимо установить, какие именно данные – с высокими или низкими значениями – подвержены кластеризации, т. е. выполнить качественное исследование выборки геоданных. Его проводят посредством анализа «горячих точек» (от англ. *hot spot analysis*, HSA) – инструмента предварительной оценки геоданных, который ориентирован на определение приоритетных областей («горячих точек») и позволяет установить наличие кластеризации данных с высокими и низкими значениями.

В анализе «горячих точек» исследуются все объекты изучаемой области данных и окрестность каждого из них. Целью анализа является определение наличия у окрестности объекта статистически значимых отличий изучаемого атрибута от всей области значений. Если в окрестности объекта значение изучаемого атрибута выше, чем в изучаемой области, объект является «горячей точкой», если ниже – «холодной точкой» (рис. 3.5).

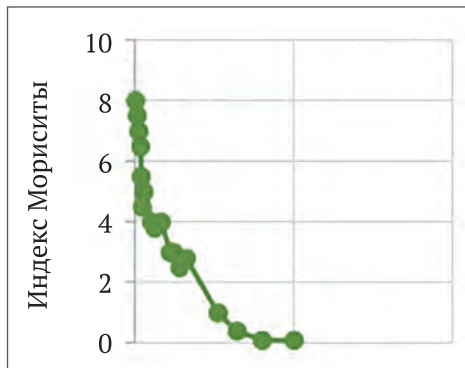
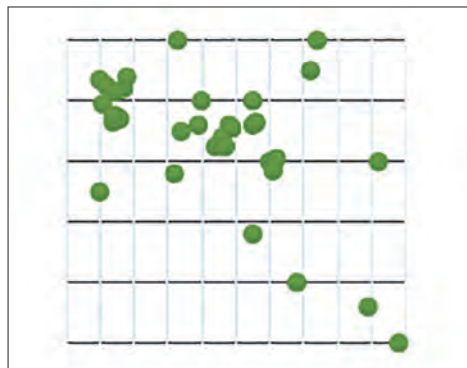
Статистические значения рассчитываются для каждого пространственного объекта в наборе данных. Однако при этом учитываются атрибутивные значения не отдельных объектов, а их окрестностей, которые рассчитываются для каждого объекта и сравниваются со значениями в остальной области исследований. Полученные итоговые z -оценки и p -значения свидетельствуют о том, в какой области пространства кластеризуются объекты с высокими или низкими значениями. При этом выполняется анализ каждого объекта в контексте соседних: z -оценка (англ. *z-score*) позволяет определить количество стандартных отклонений от среднего значения для рассматриваемого значения из выборки; p -значение (англ. *p-value*) – величина, используемая при тестировании статистических гипотез, или вероятность ошибки при отклонении нулевой гипотезы.



а



б



в

Рис. 3.4. Типы диаграммы Мориситы для определения кластеризации почвенных данных.
 Источник: Демьянов В. В., Савельева Е. А. Геостатистика: теория и практика / под ред. Р. В. Арутюняна ; Ин-т проблем безопас. развития атом. энергетики РАН. М., 2010



Рис. 3.5. Анализ горячих точек при оценке кластеризации геоданных.

Источник: Overview ArcGIS Pro.

URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/analysis/>
 (date of access: 26.07.2024)

В случае если нерегулярная сеть мониторинга сильно кластеризована, необходимо выполнить декластеризацию – присвоение весов значениям пространственной функции в точках в зависимости от характера сети мониторинга. Такая операция позволит сделать сеть точек наблюдений нерегулярной сети более равномерной, что является непрямым условием для выполнения дальнейшей интерполяции и построения интерполяционных поверхностей СПП.

По способу представления свойств объекта, в данном случае почв, функциональные математические модели делятся на аналитические и алгоритмические (табл. 3.1). Аналитические модели представляют собой явные выражения выходных параметров как функций входных и внутренних параметров. Такие модели характеризуются высокой экономичностью, но получение явного выражения происходит лишь в отдельных случаях, как правило, при принятии существенных допущений и ограничений, снижающих точность и сужающих область адекватности модели. Алгоритмические модели выражают связи выходных параметров с внутренними и внешними параметрами в форме алгоритма. При этом имитационная модель – такая алгоритмическая модель, которая отражает поведение исследуемого объекта во времени при задании внешних воздействий на объект.

Примерами имитационных математических моделей могут служить модели динамических объектов в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений, заданных в алгоритмической форме.

Таблица 3.1

Классификация математических моделей по способу представления объекта и по содержанию

Признак классификации	Математические модели
Характер отображаемых свойств объекта	Структурные, функциональные
Принадлежность к иерархическому уровню	Микроуровня, макроуровня, мегауровня
Степень детализации описания внутри одного уровня	Макромодели
Способ представления свойств объекта	Аналитические, алгоритмические, имитационные
Способ получения модели	Теоретические, эмпирические

Существует несколько подходов к анализу и обработке пространственно распределенных почвенных данных, которые можно условно разделить на три группы:

- детерминистические модели (интерполяторы) – линейная интерполяция на основе триангуляции, метод обратных расстояний в степени, мультиквадратичные уравнения и т. д.;
- геостатистика – модели, базирующиеся на статистической интерпретации данных;
- алгоритмы, основанные на обучении, – искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы, статистическая теория обучения машин векторов поддержки.

Одной из важных составляющих традиционной геостатистики является пространственный корреляционный анализ, или вариография. Несмотря на кажущуюся простоту исходных формул, вариография позволяет сделать

выводы о статистической природе данных и структуре адекватных моделей. Часто результатом пространственного анализа почвенных данных в рамках квалифицированной поддержки принятия решений являются вероятностные карты. Вероятностное (прогнозное) почвенное картографирование дает возможность оценить уровень риска по превышению или непревышению заданного уровня значения пространственной переменной. Кроме того, оно также используется при оптимизации решений, когда пространственный анализ данных является только промежуточным этапом.

В рамках геостатистики для вероятностного картирования используются нелинейные модели кригинга, в частности индикаторный кригинг. Он позволяет рассчитать локальную функцию распределения в точке оценивания. В качестве результатов составляются карты вероятности, карты средних оценок, карты оценок с заданной вероятностью превышения, которые используются в процессе принятия решений.

Числовые показатели при визуализации почвенных данных представлены:

- количеством (величиной): содержание элементов по горизонтам, показатели свойств почв и пр.;
- относительными величинами (отношениями): индексы окультуренности, баллы продуктивной способности и т. д.;
- категориями (рангами): агропроизводственные группы, агроэкологические группы, типы земель и др.

Знание типа числового показателя позволяет выбрать необходимый способ для отображения данных.

Количество и величина являются обобщенными характеристиками объектов почвенного покрова. Количество обозначает фактическое число объектов в пределах области исследования. Величина – обобщенное значение, характеризующее каждый объект. Использование количества или величины позволяет численно сопоставлять однотипные объекты. Возможно отображать количество и величину как дискретных, так и непрерывных объектов и явлений.

Отношения отражают связь между двумя величинами и образуются путем деления одной величины, характеризующей элемент, на другую. Использование отношений позволяет сгладить различия между размерами областей или количеством объектов в них так, что отображение распределения этих величин становится понятным. Наиболее часто используемые относительные статистические показатели – среднее, отношения и плотность.

Ранги позволяют упорядочить объекты в интервале от высокого до низкого и отражают относительные, а не измеренные величины. Ранги используют, когда прямые измерения затруднительны или количественная характеристика зависит от ряда факторов. Для того чтобы указывать ранги, можно использовать описательные признаки (например, очень высокий, умеренный, низкий, очень низкий) или числа (например, от 10 до 100).

Геоинформационные технологии предусматривают несколько методов классификации почвенных геоданных, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Преимущества и недостатки различных методов классификации геоданных

Метод	Сущность	Преимущества	Недостатки
Естественная разбивка	Находит группировки и закономерности, собственные геоданным, и внутри класса попадают близкие между собой значения, а между классами устанавливается видимая разница	Эффективен при визуализации данных с неравномерным распределением, поскольку в пределах области исследования данные с близкими значениями находятся в одном классе	Поскольку диапазоны, рассчитанные для каждого класса, характерны только для конкретной выборки, трудно сравнивать между собой классы из различных областей значений. Если данные распределены равномерно, то выбор оптимального числа классов затруднен
Разбивка по квантилям	Геопространственные объекты упорядочиваются по принципу изменения их атрибута в интервале от максимального до минимального значения, они суммируются и делятся на число классов для получения количества в каждом классе	Наглядное сопоставление областей, размеры которых приблизительно равны; возможность эффективного отображения геоданных, значения которых равномерно распределены; возможность оценить относительное положение объекта	Геоданные с близкими значениями могут попасть в разные классы, что может привести к необоснованному их разделению, и наоборот, несколько далеко расположенных смежных значений могут оказаться в одном классе, скрывая различия между объектами; если области имеют большую разницу в размерах, то их классификация может исказить реальные распределения
Равные интервалы	Каждый класс имеет равный диапазон значений, т. е. разность между экстремальными значениями одинакова для каждого класса	Равные интервалы более просты для понимания, так как диапазон для каждого класса одинаков; отображение непрерывных данных	Если сгруппированные данные распределены неравномерно, возможно скопление большого количества объектов в одном или двух классах и полное их отсутствие
Стандартное отклонение	Находится среднее значение; путем вычитания среднего из каждого значения вычисляется среднеквадратичное отклонение, которое возводится в квадрат. Полученные значения суммируются и делятся на число объектов	Дает возможность судить о направлении отклонения параметра геоданных; хорошо отображает данные, имеющие небольшое отклонение от среднего (логнормальное или нормальное)	Не показывает реальные характеристики объектов – только отклонения от среднего значения; очень высокие или низкие отдельные значения могут исказить значение среднего так, что большинство объектов окажется в одном классе

Оценка пространственного распределения агрохимических свойств почв земель сельскохозяйственного назначения предусматривает следующий геостатистический анализ:

- оценка формы и пространственной ориентации (тренд) распределения агрохимических показателей почвы в пределах исследуемой территории;
- выявление и математическая оценка пространственного распределения агрохимических показателей почвы;
- пространственная автокорреляция данных и определение местоположения в области исследования с аномальными значениями;
- оценка кластеризации данных об агрохимических свойствах почвы и определение местоположения кластеров в пространстве;
- визуализация кластеров путем построения карты локального индикатора пространственной ассоциативности;
- установление наиболее четких границ между плодородными и мало плодородными землями сельскохозяйственного назначения.

Практическим результатом данного анализа является выделение однородных по агрофизическим и агрохимическим свойствам почв и агротехнологическим характеристикам обрабатываемых участков и внедрение АЛСЗ.

Для того чтобы создать модель непрерывной поверхности, необходимо наличие множества регулярно расположенных точек со значениями. Однако выполнить измерения в каждой точке невозможно, поэтому на практике используют выборку точек, для которых определяют значения (высота, концентрация вещества), а затем применяют различные методы интерполяции для предсказания значения во всех точках по ограниченному набору опорных точек с известными значениями.

Существует две основные группы методов интерполяции: детерминированные и геостатистические¹.

Детерминированные методы создают поверхности из измеренных точек, основываясь или на степени схожести (обратные взвешенные расстояния), или на уровне сглаживания (радиальные базисные функции):

- метод обратных взвешенных расстояний;
- интерполяция по методу глобального полинома;
- интерполяция по методу локального полинома;
- радиальные базисные функции;
- интерполяция ядра с барьерами, использующая проницаемые или полупроницаемые барьеры.

Метод обратных взвешенных расстояний (Inverse Distance Weights, IDW) является одним из часто применяемых детерминированных методов интерполяции. Метод IDW предполагает, что объекты, которые находятся близко, более подобны друг другу, чем удаленные объекты. Для того чтобы интерполировать значение для неизмеренного положения, IDW использует из-

¹ GIS-Lab. Географические информационные системы и дистанционное зондирование. URL: <https://gis-lab.info/> (дата обращения: 22.07.2024).

меренные значения вокруг интерполируемого местоположения. Наиболее близкие к проинтерполированному местоположению измеренные значения оказывают большее влияние на прогнозируемое значение, чем удаленные от него на значительное расстояние. При этом предполагается, что каждая измеренная точка оказывает локальное влияние, которое уменьшается с увеличением расстояния. Это придает больший вес точкам, расположенным ближе всего к интерполируемому местоположению. Вес точки уменьшается как функция от расстояния, поэтому метод носит название обратных взвешенных расстояний.

Метод глобального полинома (тренд-интерполяция) подбирает к входным опорным точкам сглаженную поверхность, определяемую математической функцией (полиномом). Поверхность глобального полинома постепенно изменяется и характеризует грубую структуру в данных. Концептуально интерполяция по методу глобального полинома схожа с установкой листа бумаги между поднятыми до высоты значения точками.

Метод локальных полиномов (Local Polynomial Interpolation, LPI) – это умеренно быстрый интерполятор, который является сглаженным (неточным). Данный метод используется в случае необходимости создания сложных полиномиальных плоскостей. Если интерполяция по методу локального полинома согласовывает полином со всей поверхностью, то интерполяция по методу локальных полиномов подбирает множество полиномов, каждый из которых подходит к определенной перекрывающейся окрестности.

На практике для двумерного случая обычно используют один из типов полиномов:

- плоскость: $P_1(x, y) = a + bx + cy$;
- квадратичный: $P_2(x, y) = a + bx + cy + dxy + ex^2 + fy^2$;
- кубический: $P_3(x, y) = a + bx + cy + dxy + ex^2 + fy^2 + gx^3 + hy^3 + ix^2y + jxy^2$.

Метод локальных полиномов не позволяет исследовать автокорреляцию данных, что делает его менее гибким и более автоматизированным, чем кригинг. На данные не накладываются никакие ограничения, однако более целесообразно использовать этот метод при наличии данных, полученных при отборе образцов по равномерной сетке опробования. Применение метода локальных полиномов целесообразно и в случае, когда присутствует территория с изменчивой формой рельефа, а величина интерполируемого показателя прямо пропорционально связана с характером рельефа, изменяясь в соответствии с его изменением.

Радиальные базисные функции (Radial Basis / Bias Functions, RBF) представляют собой жесткие интерполяторы, которые создают сглаженные поверхности и в отличие от интерполяции по методу глобального и локального полиномов предусматривают прохождение интерполированной поверхности через все точки с измеренными значениями. Кроме того, в отличие от интерполяции по методу обратных взвешенных расстояний, также являющейся жестким интерполятором, радиальные базисные функции интерполируют

значения выше максимального или ниже минимального измеренного значения.

Интерполяция ядра с барьерами – это детерминированный интерполатор с движущимся окном, который использует кратчайшее расстояние между точками, соединяя их по обе стороны от линейных барьеров так, что точки по разным сторонам определенного непроходимого (абсолютного) барьера соединяются серией прямых линий. Данный метод является вариантом метода локальных полиномов и используется в случае, если в пределах интерполируемой поверхности находятся барьеры – векторный слой линейных объектов. Модель интерполяции ядра с барьерами использует разные радиально-симметричные ядра, где r – радиус окрестности поиска с центром в точке s ; h – ширина канала.

Интерполяция по методу диффузного ядра применяет ядро, основанное на уравнении теплового баланса, которое описывает, как тепло или частицы распределяются в однородной среде, и позволяет использовать в качестве барьера комбинацию растровых и векторных наборов геоданных. Интерполяция диффузии может применять сложную метрику расстояния, определяемую стоимостной поверхностью, которая является обычной функцией раstra, вычисляющей стоимость пути от одной ячейки раstra к другой. В случае интерполяции по методу диффузного ядра форма ядра изменяется рядом с барьером в соответствии с уравнением диффузии, тогда как без ее применения этого не происходит.

Выделяют также глобальные и локальные детерминированные методы. Глобальные детерминированные методы вычисляют проинтерполированные значения на основании всех данных. Локальные детерминированные методы вычисляют значения на основании измеренных точек в пределах окрестностей, которые являются меньшими пространственными областями внутри большей изучаемой территории.

Геостатистические методы представлены такими видами кригинга, как ординарный, простой, универсальный, индикаторный, вероятностный, дизъюнктивный, эмпирический байесовский, а также площадной интерполяцией.

Кригинг является базовой интерполяционной моделью геостатистики и основой всех методов, связанных с геостатистикой, – интерполяции вероятностного картирования, стохастического моделирования. Он основывается на гипотезе о пространственной однородности (стационарность второго порядка), которая предполагает:

- пространственную изменчивость, представленную значениями Z в исходных опорных точках x , принадлежащих области пространства S (статистически однородна по всей поверхности);
- вариации в значениях исходных опорных точек, которые зависят от расстояния между ними, но не зависят от их местоположения.

Кригинг обрабатывает поверхность, считая пространственные изменения значений $Z(s)$ в точках s в общем случае суммой трех компонентов:

$$Z(s) = \mu(s) + e(s) + d,$$

где $\mu(s)$ – структурная (неслучайная) компонента, которая представляет поверхность как общий тренд в определенном направлении и может быть описана какой-либо математической функцией; $e(s)$ – отклонения от тренда; d – случайный шум, не связанный с общей тенденцией. Например, пологий склон (наклонная плоскость) может быть представлен полиномом первого порядка, долина U-образной формы – полиномом второго порядка. В большинстве случаев использования интерполяции по методу кригинга считается, что исходные данные не содержат никакой тенденции (тренда); $e(s)$ – случайная, но пространственно коррелированная компонента – некоторые отклонения от общей тенденции (тренда), которые являются случайными, но связаны друг с другом пространственно; d – случайный шум, не связанный с общей тенденцией и не имеющий пространственной автокорреляции (остаточная ошибка).

Предположения относительно компоненты d :

- среднее всех $e(s) = 0$;
- вариации значений $e(s)$ и $e(s + h)$ в любых точках s и $(s + h)$ зависят от смещения h (расстояния между точками), но не зависят от местоположения точек.

Если геостатистическая поверхность почвенных данных имеет тренд, тогда из анализа значений в опорных точках тренда вычитается и моделируется только случайная компонента $e(s)$, а перед окончательным интерполированием поверхности тренд добавляется обратно. В кригинге (в отличие от интерполяции по методу обратных взвешенных расстояний) веса опорных точек в окрестности искомой точки зависят не только от расстояния между опорной и искомой точками, но и от пространственной структуры данных в целом. По этой причине для установления весов в кригинге сначала необходимо определить пространственную структуру данных, т. е. количественно установить их пространственную автокорреляцию.

Исходя из вышесказанного, кригинг предусматривает решение двух основных задач:

- 1) установление пространственной структуры данных – подбор к данным модели пространственной изменчивости (вариограммы);
- 2) моделирование поверхности с использованием для расчета (прогноза) неизвестных значений подобранной вариограммы, а также расположения и известных значений опорных точек, находящихся в пределах заданного радиуса поиска вокруг точки с искомым значением.

Вариограмма – это функция, которая связывает различие в значениях опорных точек и расстояние, на котором они отстоят друг от друга. Она служит инструментом для исследования пространственной автокорреляции (связей) между опорными точками. Для проведения пространственного корреляционного анализа наиболее часто используют такие моменты второго порядка, обеспечивающие различное описание пространственной непрерывности на основе двухточечной статистики (пар точек), как ковариация и полувариограмма (вариограмма).

Ковариация – статистическая мера корреляции между двумя значениями $Z(x)$ и $Z(x + h)$ в точках, разделенных вектором h . Она характеризует степень похожести данных о почвенном покрове: чем более похожи данные (ближе значения), тем больше значение ковариации.

Полувариограмма, или вариограмма, – вариация разницы значений переменной в двух точках как функция расстояния и направления между ними. Она характеризует степень различия данных в зависимости от расстояния между ними: чем ближе значения данных (меньше разница между ними), тем больше значение вариограммы.

Корреляция – это один из основных терминов теории вероятности, показывающий меру зависимости между двумя и более случайными величинами. Данная зависимость выражается через коэффициент корреляции, который принимает значения от -1 до $+1$. Анизотропия – зависимость некоторого свойства функции от ориентации аргумента.

Пример графика на рис. 3.6 называют облаком вариограммы или эмпирической вариограммой (диаграмма средних значений вариограммы на оси y и расстояния (или лага) на оси x).

Для того чтобы снизить число точек на эмпирической вариограмме, пары местоположений группируются на основе расстояния, которое отделяет их друг от друга. Процесс такого группирования называется биннингом.

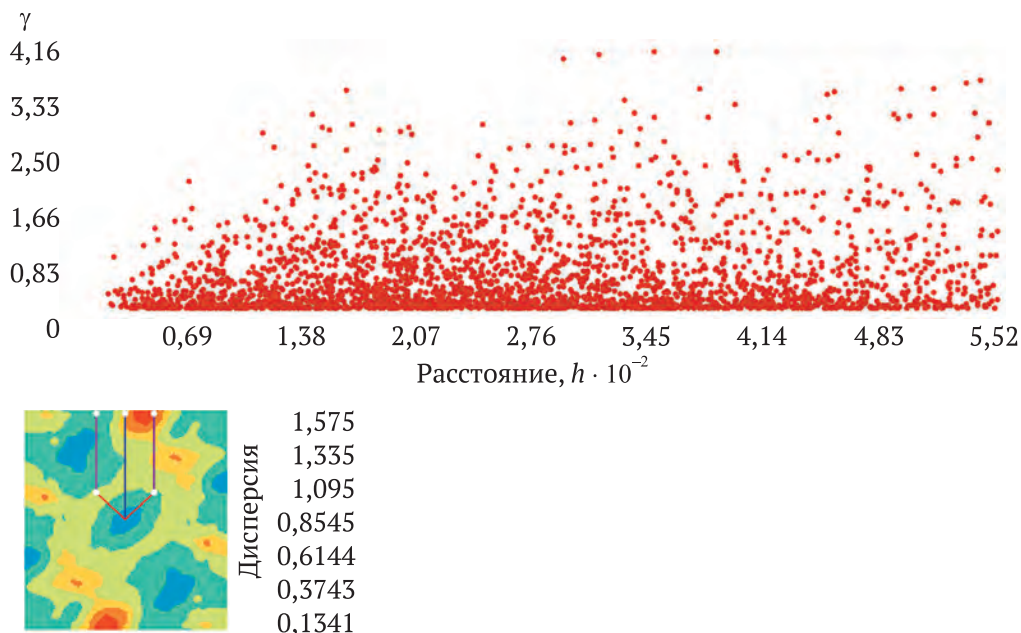


Рис. 3.6. Облако вариограммы количественных значений геоданных.

Источники: Клебанович Н. В., Киндеев А. Л.

Геостатистическая оценка вариабельности свойств почв // Вестн. УдГУ. 2018. Т. 28, № 1. С. 91–102

Моделирование вариограммы – процесс подбора математической модели, удовлетворяющей всем свойствам вариограммы и позволяющей описать ее для любого лага (a) (расстояния) и направления. Иными словами, это процесс выбора модели и подбора параметров, делающих ее подходящей для экспериментальной вариограммы, рассчитанной по фактическим данным. Наиболее часто используемыми типами моделей вариограммы являются сферическая, круговая, экспоненциальная, гауссова и линейная.

На практике наиболее часто применяются сферическая, экспоненциальная и гауссова модели (или их комбинации).

Модель вариограммы (ковариации), подобранная к эмпирическим данным, удовлетворяет следующим условиям:

- проходит через центр облака объединенных в бины значений (красные точки на рис. 3.7);
- проходит как можно ближе к средним значениям (синие перекрестья);
- располагается как можно ближе к середине локальных полиномов (зеленые линии).

Зависимость свойств изучаемых явлений от направлений в пространстве называют анизотропией. Она не является детерминированным процессом, который можно описать одной математической формулой, и не имеет одного источника или влияния, которое предсказуемо воздействует на все измеренные точки. Анизотропия характерна для случайного процесса с более высокой автокорреляцией в одном конкретном направлении. Например, на дне оврага мощность пахотного горизонта почвы значительно меньше, чем на его краях. Если точка наблюдения находится на расстоянии 50 м от точки интерполяции в направлении, параллельном линии дна оврага, то значение в ней скорее будет похоже на значение в точке интерполяции, чем значение в точке наблюдения, расположенной на таком же расстоянии, но в направлении, перпендикулярном к линии дна.

Анизотропия вариограммы характеризует изменение вариограммы и функций ковариации не только с изменением расстояния, но и с изменением направления. Если модель вариограммы зависит только от расстояния между точками, она называется изотропной. Если же вариограмма зависит и от ориентации пары точек в пространстве, то имеет место наличие анизотропии, что означает существование структур данных с различными пространственными характеристиками в различных направлениях. Изотропная модель вариограммы одинакова во всех направлениях, в то время как анизотропная модель достигает значения порога в одних направлениях быстрее, чем в других. Длина длинной оси при движении к порогу называется большим радиусом, длина короткой оси называется малым радиусом, также отображается угол поворота линии, которая формирует большой радиус.

В геостатистике анизотропию подразделяют на два класса: геометрическую и зонную. В случае геометрической анизотропии изолинии вариограммы на вариограммной поверхности или вариограммной розе имеют форму эллипса (рис. 3.8). При негеометрической анизотропии они образуют иную форму.

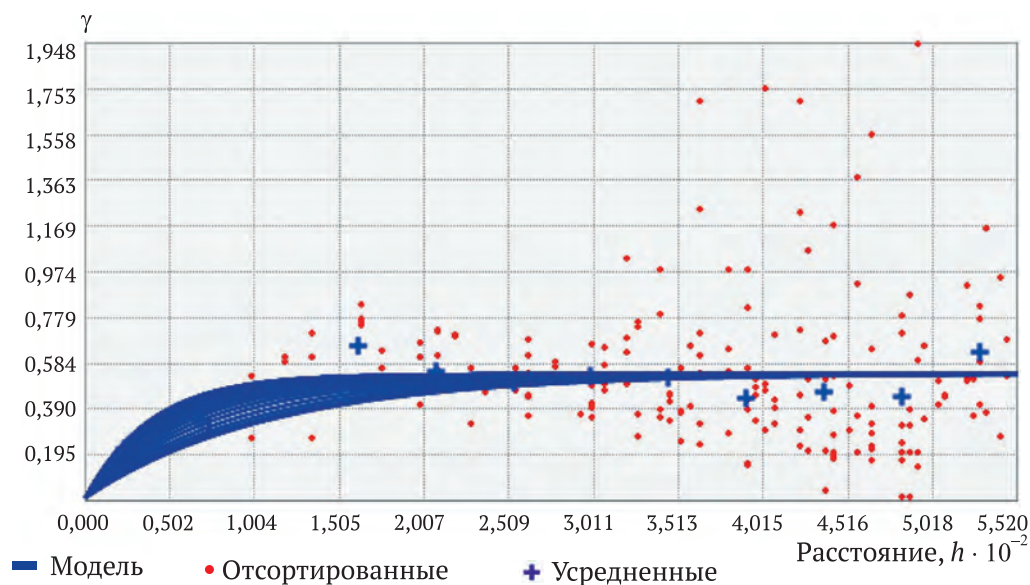


Рис. 3.7. Модель вариограммы геоданных.
 Источник: Клебанович Н. В., Киндеев А. Л.
 Геоestatистическая оценка вариабельности свойств почв // Вестн. УдГУ. 2018. Т. 28. № 1. С. 91–102

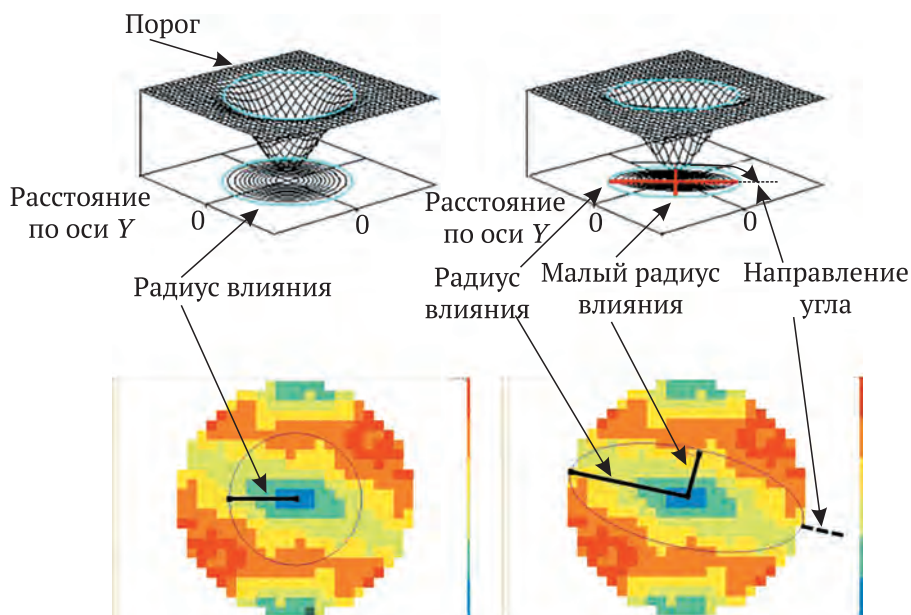


Рис. 3.8. Анизотропия вариограммы геоданных.
 Источник: Overview ArcGIS Pro.
 URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/analysis/>
 (date of access: 26.07.2024)

Модель данных – некоторая абстракция, которая в случае применения к конкретным данным позволяет пользователям и разработчикам трактовать их уже как информацию, т. е. сведения, содержащие осмысленные данные и взаимосвязь между ними. Модель данных является ядром любой базы данных, систематизируя информацию и отражая ее свойства по содержанию, структуре, объему, связям и динамике.

Наибольшее практическое применение находят следующие виды традиционных моделей: иерархическая, сетевая, реляционная. Среди нетрадиционных в настоящее время развиваются объектно ориентированные, многомерные, постреляционные и другие модели.

Контрольные вопросы

1. В чем выражается особенность геостатистических методов геообработки почвенных данных?
2. Что такое пространственная автокорреляция геоданных?
3. Какие приемы растрового анализа почвенных данных являются наиболее распространенными?
4. Назовите отличия между пространственной и традиционной статистикой.
5. Какие преимущества имеют детерминированные методы в геостатистике?
6. Дайте характеристику основных приемов картографической генерализации на цифровых почвенных картах.
7. Какие блоки геостатистического анализа почвенных данных являются основными?
8. Назовите четыре группы моделирования почвенных данных в среде ГИС.
9. В чем заключаются задачи имитационного моделирования данных о структуре почвенного покрова?
10. Как выражается особенность геостатистического приема триангуляция Делоне?
11. Приведите примеры кластеризации почвенных данных.
12. Какие математические модели применяются в зависимости от способа представления объектов почвенного покрова?
13. Назовите преимущества и недостатки различных методов классификации почвенных геоданных.
14. Какие типы полиномов используются для интерполяции?
15. В чем заключается цель моделирования вариограммы в геостатистическом анализе почвенных данных?

ЗАДАНИЯ ПО ГИС-АНАЛИЗУ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

1. Создайте 3D-модель фрагмента территории по значениям относительной высоты местности, декодированным по косвенным признакам влагообеспеченности с ЦПК. Восстановите 3D-модель местности по данным почвенного покрова с учетом номенклатурного положения почвенных разновидностей по показателям влагообеспеченности.

Порядок выполнения

1. Создайте файловую базу геоданных с загрузкой исходных shp-файлов с информацией о почвенных сведениях в ГИС ArcGIS.

2. Классифицируйте почвенные разновидности по показателям влагообеспеченности. Номер почвенной разновидности в номенклатурном списке (на основе атрибутивного поля Kod1(2,3)_1) соотнесите со степенью увлажнения и ранжируйте на автоморфные, оглеенные внизу, оглеенные контактно, временно избыточно увлажненные (слабоглееватые), глееватые, глеевые.

3. Определите значения относительной высоты местности по выбранным классам (рангам).

4. Загрузите ЦМР SRTM и добавьте в ArcGIS с использованием встроенного функционала. Определите основные статистические параметры.

5. Присвойте относительные высоты для групп почв по влагообеспеченности в соответствии с их градацией по степени увлажнения. Конвертируйте векторный слой Soils в растр по полю Н (относительная высота) с размером ячейки, равным 5 м, используя инструмент «Полигон в растр».

6. Создайте достаточно большое количество точек, на основе которых будут извлечены данные об относительных высотах. Создайте произвольно расположенные точки для глеевых, глееватых, оглеенных внизу и слабоглееватых почв путем определения параметра «Ограничивающий класс пространственных объектов» при выделении в таблице атрибутов слоя Soils выбранных групп почв по степени увлажнения.

7. Объедините классы пространственных объектов, содержащих произвольно расположенные точки. Получите значения относительных высот для каждой точки в полученном классе пространственных объектов.

8. На основе точечных данных выполните интерполяции по значениям относительных высот. Примените методы интерполяции ОВР и «Естественная окрестность» из-за достаточно высокой плотности точек.

9. Оформите 3D-модели фрагмента территории. Добавьте полученную модель рельефа в ArcScene, настройте базовые высоты и выполните символизацию по методу заданного интервала (равен 20 м).



1. Оцените применимость почвенных данных в 3D-моделировании.

2. Сравните результаты интерполяции, полученные при использовании методов ОВР и «Естественная окрестность».

2. Идентифицируйте почвенные комбинации в геоинформационной среде в зависимости от местных факторов почвообразования. Создайте реляционную модель почвенной базы данных. Примените ГИС-анализ для пространственной идентификации почвенных комбинаций на основе факторных данных.

Порядок выполнения

1. Создайте файловую базу геоданных на примере территории Солигорского района с набором необходимых пространственных классов данных:

- почвы;
- виды земель;
- землепользователи;
- геосистемы (почвенные комбинации);
- сельсоветы;
- катены и др.

Загрузите имеющуюся информацию в shp-файлах в файловую базу геоданных и оформите легенды классов объектов. Символизируйте исходные классы пространственных объектов на основе файлов в формате ArcGIS Layer (.lyr) на основе импорта символов из слоя.

2. Создайте новый полигональный векторный слой (с атрибутивным полем «Индекс_ПК» для внесения информации о геосистемах, а затем их символизации), который будет иметь прямоугольную форму с замыканием на границе геосистем Солигорского района.

3. Проведите оцифровку геосистем в северо-восточной части Солигорского района. Изучите теоретико-методологические и практические аспекты особенностей выделения геосистем на основе комплексного использования информации о почвенном покрове исследуемой территории. Используйте индексы конкретных геосистем (например, код 1213 – водоразделы выпуклые высокие на двучленных с водоупором почвообразующих породах, код 2226(тн) – депрессии озеровидные глубокие заторфованные («тн» – торф низинный), т. е. первая цифра в коде геосистемы обозначает орографический критерий; вторая – геоморфологический; третья – гипсометрический; четвертая – литологический (почвообразующие породы); код 32239 – поймы центральные низкого уровня заторфованные, где вторая цифра обозначает категорию поймы по орографическому критерию). Используйте иерархическую схему группировки геосистем на основе различных критериев.

Кодирование геосистем проводится от общего к частному: сначала анализируется орографический критерий (водораздел, депрессии или поймы), далее в пределах данных участков выделяются геоморфологические признаки (водораздел: фрагментарный, выпуклый, плоский, депрессии: долинообразные, озеровидные, поймы: прирусловая, центральная, притеррасная), затем на основе степени увлажнения определяется уровень гипсометрии (автоморфные почвы располагаются на более выпуклых участках по сравнению с полугидроморфными), а также проводится выделение почвообразующих пород (данный критерий выделяется на основе характеристики о подсти-

лании). Выполните гипсометрическую дифференциацию геосистем. В основном эта информация считывается с цифровой модели рельефа, но содержится и в компонентном составе почвенной комбинации. Охарактеризуйте в базе данных литологическое строение геосистем по девяти вариантам почвообразующих пород почвенной комбинации.

4. Оцифруйте и проведите пространственную идентификацию геосистем. При редактировании слоя геосистем сделайте только данный слой доступным для выборки, чтобы избежать редактирования исходных слоев (щелкните правой кнопкой мыши по слою геосистем в таблице содержания и выберите опцию «Выборка – Сделать только этот слой доступным для выборки»). Для определения характеристик почвенных контуров можно использовать опцию «Идентифицировать», что позволит отобразить название почвенной разновидности и номера кодов (Kod1 – Kod4), характеризующих различные сведения о почвенном покрове.

Информация о кодировке почв на основе соответствующих атрибутивных полей включает название почвенной разновидности в соответствии с номенклатурным списком почв Беларуси, генезис почвообразующих пород, гранулометрический состав, подстиление.

Переходные геосистемы рекомендуется выделять при наличии неупорядоченно расположенных и повторяющихся почвенных разновидностей, имеющих заметные различия между собой, но достаточно компактно расположенных в пространстве. Таким образом, переходные геосистемы представляют собой комплекс двух вариантов почвенных комбинаций, доля которых в общей формуле приближается к 50 %.

5. Выделите контуры, на которых расположены терриконы и очистные сооружения к северу от Солигорска на основе ДДЗ. С использованием инструмента «Множественный буфер» создайте буферные зоны на расстоянии 1, 3 и 6 км от терриконов и очистных сооружений и спроектируйте закладки катен от водоразделов к депрессиям с рекомендуемой протяженностью порядка 1–1,5 км. При этом катены должны быть репрезентативными и охватывать различные геосистемы.



1. Сравните полученные результаты с реальными, сделайте выводы.

2. Выполните характеристику местоположения шести проектируемых катен для взятия почвенных образцов и последующих лабораторных анализов.

3. Проведите ГИС-анализ почвенных признаков и свойств, картографическую алгебру и геостатистическую обработку атрибутивных данных. Изучите пространственно-временные особенности почвенных признаков и свойств с использованием инструментов векторного анализа и картографической алгебры; оцените продуктивную способность почвенного покрова в разрезе видов земель сельскохозяйственной организации.

Порядок выполнения

1. Сформируйте структуру и создайте файловую базу почвенных геоданных. Загрузите в базу данных исходные shp-файлы с информацией о поч-

венных и земельно-кадастровых сведениях с помощью инструмента «Класс объектов в базу геоданных (несколько)» в ГИС ArcGIS.

2. Классифицируйте почвенные данные по пяти факторам, обуславливающим продуктивную способность почв (от 1 – min до 5 – max):

- гранулометрический состав;
- степень увлажнения;
- генезис;
- степень эродированности;
- характер подстилки.

Создайте для каждого фактора полей в таблице атрибутов слой Soils, который заполняется в соответствии с благоприятностью каждого фактора для ведения сельского хозяйства на основе информации из таблиц. Для создания классификации почвенных данных по пяти факторам применяется информация из методики проведения кадастровой оценки сельскохозяйственных земель для получения более объективных результатов. В качестве основного критерия кадастровой оценки сельскохозяйственных земель выступают ключевые свойства почв, которые определяют их типовые различия: гранулометрический состав, степень увлажнения, характер строения почвообразующих пород.

Генезис почвообразующих пород влияет на уровень плодородия почв, так как почвы одного гранулометрического состава, но имеющие разный генезис, различаются по своей производительной способности. Водно-ледниковые отложения занимают наибольшие площади на территории Беларуси, поэтому они приняты за основу и поправочный коэффициент для них установлен равным 1,00. Величина поправочных коэффициентов зависит от гранулометрического состава почв и определена для средне- и легкосуглинистых, связносупесчаных, рыхлосупесчаных и песчаных почв.

Выполните учет влияния эродированности на плодородие почв, который основывается на использовании понижающего поправочного коэффициента к баллу почв, определяемого по шкале. При этом величина данного коэффициента зависит не только от степени эродированности, но и от вида эрозии (водная, ветровая). Поправочные коэффициенты определены отдельно для водной и ветровой эрозии по трем степеням ее проявления.

3. Примените SQL-запрос для расчета итоговой продуктивной способности (по новому атрибутивному полю) почв в слое Soils на основе вычисления суммарного значения для всех пяти факторов, используя «Калькулятор поля».

4. Выполните группировки данных о видах земель на основе слоя Lands.

5. Выполните пространственное пересечение данных о продуктивной способности почв и границ контуров сельскохозяйственных земель. Используйте инструмент «Идентичность» из группы инструментов «Анализ – Наложение». В качестве входных объектов выберите слои, содержащие информацию о почвенном покрове и контурах сельскохозяйственных земель. Затем проведите конвертацию полученного векторного слоя в растр (размер

ячейки 2 м), используя инструмент «Полигон в растр», на основе информации из поля, содержащего суммарную оценку всех пяти факторов.

6. Для расчета суммарной оценки продуктивной способности почв по пяти факторам в пределах каждого контура сельскохозяйственных земель примените инструмент «Зональная статистика в таблицу» (из группы «Spatial Analyst – Зональные»). В диалоговом окне инструмента установите параметры «Входные растровые или векторные данные зон – слой, содержащий контуры с/х земель»; «Поле зоны – ObjectID»; «Входной растр значений – растр», который содержит информацию о суммарной оценке для почв сельскохозяйственных земель; «Тип статистики – MIN_MAX_MEAN».

7. Символизируйте данные в слое, содержащем границы контуров сельскохозяйственных земель, по полю MEAN (среднее значение общей оценки благоприятности почв на основе пяти факторов) и разделите полученные результаты на пять классов. Оформите итоговую картосхему продуктивной способности почв сельскохозяйственных земель в ArcGIS.



1. Выполните оценку наиболее сельскохозяйственно перспективных участков и проанализируйте их географическое распространение.

2. Назовите инструмент геообработки в ArcGIS, который суммирует значения растра в пределах зон другого набора данных и записывает результаты в таблицу.

4. Рассчитайте картометрические коэффициенты в ГИС-среде по вариантам СПП.

Выполните картометрический анализ СПП по коэффициентам расчлененности (сложности), контрастности и неоднородности.

Порядок выполнения

1. Подготовьте исходный фрагмент картосхемы для векторизации. Копируйте картосхему согласно данному варианту и загрузите ее в Adobe Illustrator для сохранения исходных размеров изображения.

Добавьте окно, отображающее геометрическую информацию об объектах. Создайте прямоугольный объект, который будет совпадать с границей фрагмента исходной картосхемы. В окне «Информация» отражаются не только координаты курсора (X, Y), но и значения ширины и высоты оцифрованной прямоугольной границы картосхемы. Учтите полученные значения ширины и высоты прямоугольника для дальнейшего определения координат угловых точек картосхемы. Сохраните проект в Adobe Illustrator и экспортируйте изображение.

2. Создайте новый проект в ГИС ArcGIS, выберите проекционную систему координат WGS 1984 UTM Zone 35N с помощью функции «Вид – Свойства фрейма данных» в разделе «Системы координат».

Добавьте картосхемы в формате .jpg в созданный проект в ArcGIS. Масштаб исходной картосхемы 1 : 5000. Левый нижний угол границы картосхемы для удобства расчетов примите со следующими условными координатами: $X = 0$ м, $Y = 0$ м; правый нижний угол: $X =$ ширина прямоугольника, пересчитанная по масштабу картосхемы, $Y = 0$ м; левый верхний угол –

$X = 0$ м, Y = высота прямоугольника, пересчитанная по масштабу картосхемы; правый верхний угол: X = ширина прямоугольника, пересчитанная по масштабу картосхемы, Y = высота прямоугольника, пересчитанная по масштабу картосхемы. Осуществите привязку по рассчитанным координатам и ввод для каждой из угловых точек соответствующих координат.

3. После выполнения трансформирования картосхемы в проекционную систему координат WGS 1984 UTM Zone 35N в ArcGIS создайте новую файловую базу геоданных, где будет размещен полигональный класс пространственных объектов для оцифровки контуров почв. Для оцифрованных контуров в таблице атрибутов рассчитайте основные геометрические параметры (периметр, площади и доли участков в общей площади).

4. Используйте методики расчетов коэффициентов сложности, контрастности и неоднородности. Формы элементарных почвенных ареалов достаточно разнообразны, что проявляется в изрезанности и расчлененности границ. Выполнение расчетов на основе данных из исходной картосхемы, а также на основе результатов, полученных при оцифровке в ГИС (значения площади и коэффициента расчлененности для контуров будут различаться). Неоднородность почвенного покрова характеризуется его сложностью и контрастностью.

5. Подпишите коэффициент расчлененности почвенных контуров (площадь в га), полученных после расчетов для векторного слоя в ArcGIS, а также код названия почвы.

6. Оформите результаты расчетов коэффициентов сложности, контрастности и неоднородности. Сравните их на основе исходной картосхемы и оцифрованной картосхемы в векторном формате. Выполните компоновки итоговой картосхемы в ArcGIS вместе с итоговыми результатами расчетов. При аналитическом сравнении расчетов, полученных в ГИС и исходных данных с картосхемы, можно обнаружить, что часто результаты сопоставимы при оценке степеней градации данных коэффициентов (особенно для коэффициентов сложности и неоднородности), но для коэффициента контрастности могут быть заметные различия, которые обусловлены тем, что информация о почвенном покрове за пределами фрагмента почвенной карты несколько ограничена.



1. Проанализируйте полученные результаты расчетов коэффициентов СПП и выполните их оценку.
2. Сравните результаты, полученные при использовании информации с исходной картосхемы и вычисленные после проведения оцифровки в ГИС.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Типы земель в соответствии с почвенными комбинациями

Индекс	Описание
1111	Водоразделы фрагментарные высокие на рыхлых почвенных покровах (далее – ПП)
1111(2)	Водоразделы фрагментарные высокие на рыхлых и двучленных без водоупора ПП
1112(1)	Водоразделы фрагментарные высокие на двучленных без водоупора и рыхлых ПП
1112	Водоразделы фрагментарные высокие на двучленных без водоупора ПП
1113	Водоразделы фрагментарные высокие на двучленных с водоупором ПП
1113(4)	Водоразделы фрагментарные высокие на двучленных с водоупором и связных ПП
1114(3)	Водоразделы фрагментарные высокие на связных и двучленных с водоупором ПП
1114	Водоразделы фрагментарные высокие на связных ПП (суглинках)
1114(5)	Водоразделы фрагментарные высокие на связных ПП
1115	Водоразделы фрагментарные высокие на связных ПП (глинах)
1121	Водоразделы фрагментарные низкие на рыхлых ПП
1121(2)	Водоразделы фрагментарные низкие на рыхлых и двучленных без водоупора ПП
1122(1)	Водоразделы фрагментарные низкие на двучленных без водоупора и рыхлых ПП
1122	Водоразделы фрагментарные низкие на двучленных без водоупора ПП
1123	Водоразделы фрагментарные низкие на двучленных с водоупором ПП
1123(4)	Водоразделы фрагментарные низкие на двучленных с водоупором и связных ПП
1124(3)	Водоразделы фрагментарные низкие на связных и двучленных с водоупором ПП
1124	Водоразделы фрагментарные низкие на связных ПП (суглинках)
1124(5)	Водоразделы фрагментарные низкие на связных ПП
1125	Водоразделы фрагментарные низкие на связных ПП (глинах)
1211	Водоразделы выпуклые высокие на рыхлых ПП
1211(2)	Водоразделы выпуклые высокие на рыхлых и двучленных без водоупора ПП

Индекс	Описание
1212(1)	Водоразделы выпуклые высокие на двучленных без водоупора и рыхлых ПП
1212	Водоразделы выпуклые высокие на двучленных без водоупора ПП
1213	Водоразделы выпуклые высокие на двучленных с водоупором ПП
1213(4)	Водоразделы выпуклые высокие на двучленных с водоупором и связных ПП
1214(3)	Водоразделы выпуклые высокие на связных и двучленных с водоупором ПП
1214	Водоразделы выпуклые высокие на связных ПП (суглинках)
1214(5)	Водоразделы выпуклые высокие на связных ПП
1215	Водоразделы выпуклые высокие на связных ПП (глинах)
1221	Водоразделы выпуклые низкие на рыхлых ПП
1221(2)	Водоразделы выпуклые низкие на рыхлых и двучленных без водоупора ПП
1222(1)	Водоразделы выпуклые низкие на двучленных без водоупора и рыхлых ПП
1222	Водоразделы выпуклые низкие на двучленных без водоупора ПП
1223	Водоразделы выпуклые низкие на двучленных с водоупором ПП
1223(4)	Водоразделы выпуклые низкие на двучленных с водоупором и связных ПП
1224(3)	Водоразделы выпуклые низкие на связных и двучленных с водоупором ПП
1224	Водоразделы выпуклые низкие на связных ПП
1224(5)	Водоразделы выпуклые низкие на связных ПП
1225	Водоразделы выпуклые низкие на связных ПП (глинах)
1311	Водоразделы плоские высокие на рыхлых ПП
1311(2)	Водоразделы плоские высокие на рыхлых и двучленных без водоупора ПП
1312(1)	Водоразделы плоские высокие на двучленных без водоупора и рыхлых ПП
1312	Водоразделы плоские высокие на двучленных без водоупора ПП
1313	Водоразделы плоские высокие на двучленных с водоупором ПП
1313(4)	Водоразделы плоские высокие на двучленных с водоупором и связных ПП
1314(3)	Водоразделы плоские высокие на связных и двучленных с водоупором ПП
1314	Водоразделы плоские высокие на связных ПП
1314(5)	Водоразделы плоские высокие на связных ПП

Индекс	Описание
1315	Водоразделы плоские высокие на связных ПП (глинах)
1321	Водоразделы плоские низкие на рыхлых ПП
1321(2)	Водоразделы плоские низкие на рыхлых и двучленных без водопора ПП
1322(1)	Водоразделы плоские низкие на двучленных без водопора и рыхлых ПП
1322	Водоразделы плоские низкие на двучленных без водопора ПП
1323	Водоразделы плоские низкие на двучленных с водопором ПП
1323(4)	Водоразделы плоские низкие на двучленных с водопором и связных ПП
1324(3)	Водоразделы плоские низкие на связных и двучленных с водопором ПП
1324	Водоразделы плоские низкие на связных ПП (суглинках)
1324(5)	Водоразделы плоские низкие на связных ПП
1325	Водоразделы плоские низкие на связных ПП (глинах)
1326(тв)	Водоразделы плоские низкие заторфованные (верховые болота)
1326(тп+тв)	Водоразделы плоские низкие заторфованные (верховые, реже переходные болота)
1326(тп)	Водоразделы плоские низкие заторфованные (переходные болота)
1326(тн+тп)	Водоразделы плоские низкие заторфованные (низинные, реже переходные болота)
1326(тн)	Водоразделы плоские низкие заторфованные (низинные болота)
2111	Депрессии долинообразные неглубокие на рыхлых ПП
2111(2)	Депрессии долинообразные неглубокие на рыхлых и двучленных без водопора ПП
2112(1)	Депрессии долинообразные неглубокие на двучленных без водопора и рыхлых ПП
2112	Депрессии долинообразные неглубокие на двучленных без водопора ПП
2113	Депрессии долинообразные неглубокие на двучленных с водопором ПП
2113(4)	Депрессии долинообразные неглубокие на двучленных с водопором и связных ПП
2114(3)	Депрессии долинообразные неглубокие на связных и двучленных с водопором ПП
2114	Депрессии долинообразные неглубокие на связных ПП (суглинках)
2114(5)	Депрессии долинообразные неглубокие на связных ПП

Индекс	Описание
2115	Депрессии долинообразные неглубокие на связных ПП (глинах)
2126(тв)	Депрессии долинообразные глубокие заторфованные (верховые болота)
2126(тп+тв)	Депрессии долинообразные глубокие заторфованные (верховые, реже переходные болота)
2126(тп)	Депрессии долинообразные глубокие заторфованные (переходные болота)
2126(тн+тп)	Депрессии долинообразные глубокие заторфованные (низинные, реже переходные болота)
2126(тн)	Депрессии долинообразные глубокие заторфованные (низинные болота)
2211	Депрессии озеровидные неглубокие на рыхлых ПП
2211(2)	Депрессии озеровидные неглубокие на рыхлых и двучленных без водоупора ПП
2212(1)	Депрессии озеровидные неглубокие на двучленных без водоупора и рыхлых ПП
2212	Депрессии озеровидные неглубокие на двучленных без водоупора ПП
2213	Депрессии озеровидные неглубокие на двучленных с водоупором ПП
2213(4)	Депрессии озеровидные неглубокие на двучленных с водоупором и связных ПП
2214(3)	Депрессии озеровидные неглубокие на связных и двучленных с водоупором ПП
2214	Депрессии озеровидные неглубокие на связных ПП (суглинках)
2214(5)	Депрессии озеровидные неглубокие на связных ПП
2215	Депрессии озеровидные неглубокие на связных ПП (глинах)
2226тв	Депрессии озеровидные глубокие заторфованные (верховые болота)
2226(тп+тв)	Депрессии озеровидные глубокие заторфованные (верховые, реже переходные болота)
2226(тп)	Депрессии озеровидные глубокие заторфованные (переходные болота)
2226(тн+тп)	Депрессии озеровидные глубокие заторфованные (низинные, реже переходные болота)
2226(тн)	Депрессии озеровидные глубокие заторфованные (низинные болота)
31117	Поймы нерасчлененные высокого уровня на рыхлом аллювии
31117(8)	Поймы нерасчлененные высокого уровня на рыхлом, реже связном аллювии

Индекс	Описание
31118(7)	Поймы нерасчлененные высокого уровня на связном, реже рыхлом аллювии
31118	Поймы нерасчлененные высокого уровня на связном аллювии
31127	Поймы нерасчлененные среднего уровня на рыхлом аллювии
31127(8)	Поймы нерасчлененные среднего уровня на рыхлом, реже связном аллювии
31128(7)	Поймы нерасчлененные среднего уровня на связном, реже рыхлом аллювии
31128	Поймы нерасчлененные среднего уровня на связном аллювии
31137	Поймы нерасчлененные низкого уровня на рыхлом аллювии
31137(8)	Поймы нерасчлененные низкого уровня на рыхлом, реже связном аллювии
31138(7)	Поймы нерасчлененные низкого уровня на связном, реже рыхлом аллювии
31138	Поймы нерасчлененные низкого уровня на связном аллювии
32117	Поймы прирусловые высокого уровня на рыхлом аллювии
32117(8)	Поймы прирусловые высокого уровня на рыхлом, реже связном аллювии
32118(7)	Поймы прирусловые высокого уровня на связном, реже рыхлом аллювии
32118	Поймы прирусловые высокого уровня на связном аллювии
32127	Поймы прирусловые среднего уровня на рыхлом аллювии
32127(8)	Поймы прирусловые среднего уровня на рыхлом, реже связном аллювии
32128(7)	Поймы прирусловые среднего уровня на связном, реже рыхлом аллювии
32128	Поймы прирусловые среднего уровня на связном аллювии
32129	Поймы прирусловые среднего уровня заторфованные
32139	Поймы прирусловые низкого уровня заторфованные
32217	Поймы центральные высокого уровня на рыхлом аллювии
32217(8)	Поймы центральные высокого уровня на рыхлом, реже связном аллювии
32218(7)	Поймы центральные высокого уровня на связном, реже рыхлом аллювии
32218	Поймы центральные высокого уровня на связном аллювии
32227	Поймы центральные среднего уровня на рыхлом аллювии
32227(8)	Поймы центральные среднего уровня на рыхлом, реже связном аллювии

Индекс	Описание
32228(7)	Поймы центральные среднего уровня на связном, реже рыхлом аллювии
32228	Поймы центральные среднего уровня на связном аллювии
32229	Поймы центральные среднего уровня заторфованные
32239	Поймы центральные низкого уровня заторфованные
32317	Поймы притеррасные высокого уровня на рыхлом аллювии
32317(8)	Поймы притеррасные высокого уровня на рыхлом, реже связном аллювии
32318(7)	Поймы притеррасные высокого уровня на связном, реже рыхлом аллювии
32318	Поймы притеррасные высокого уровня на связном аллювии
32327	Поймы притеррасные среднего уровня на рыхлом аллювии
32327(8)	Поймы притеррасные среднего уровня на рыхлом, реже связном аллювии
32328(7)	Поймы притеррасные среднего уровня на связном, реже рыхлом аллювии
32328	Поймы притеррасные среднего уровня на связном аллювии
32329	Поймы притеррасные среднего уровня заторфованные
32339	Поймы притеррасные низкого уровня заторфованные
4117	Первые надпойменные террасы высокого уровня на рыхлом аллювии
4117(8)	Первые надпойменные террасы высокого уровня на рыхлом, реже связном аллювии
4118(7)	Первые надпойменные террасы высокого уровня на связном, реже рыхлом аллювии
4118	Первые надпойменные террасы высокого уровня на связном аллювии
4127	Первые надпойменные террасы среднего уровня на рыхлом аллювии
4127(8)	Первые надпойменные террасы среднего уровня на рыхлом, реже связном аллювии
4128(7)	Первые надпойменные террасы среднего уровня на связном, реже рыхлом аллювии
4128	Первые надпойменные террасы среднего уровня на связном аллювии
4129	Первые надпойменные террасы среднего уровня заторфованные
4139	Первые надпойменные террасы низкого уровня заторфованные
0000	Другое

2. Группы почвенных ареалов и почвенных комбинаций на примере водораздельных пространств

Индекс	Диапазон встречаемости – возможной занимаемой площади в почвенной комбинации (min/max), %															
	ДП	ДПВ ₀₋₁	ДПВ ₂	ДПВ ₃	ДПВ _{ин}	ДВ ₁	ДВ ₂	ДВ ₃	ТВ	ТП	ТН	А/ДВ ₀₋₁	А/ДВ ₂	А/ДВ ₃	А/Д _{ин}	АТН
1111; 1111(2); 1112(1); 1112; 1113; 1113(4); 1114(3); 1114; 1114(5); 1115	35–85	30–70	15–45	5–25	0–15	15–35	5–20	0–20	0–15	0–10	0–15	5–15	0–20	0–15	0–15	0–15
1121; 1121(2); 1122(1); 1122; 1123; 1123(4); 1124(3); 1124; 1124(5); 1125	30–65	35–75	20–55	15–45	5–15	25–55	20–45	15–35	5–25	5–20	5–25	5–25	5–25	0–20	0–20	0–20
1211; 1211(2); 1212(1); 1212; 1213; 1213(4); 1214(3); 1214; 1214(5); 1215	40–85	35–75	20–50	5–25	0–10	25–55	15–35	5–25	0–5	0–5	0–5	5–20	0–20	0–5	0–5	0–5
1221; 1221(2); 1222(1); 1222; 1223; 1223(4); 1224(3); 1224; 1224(5); 1225	30–65	40–85	35–75	15–45	5–25	20–45	15–45	10–35	0–20	0–15	0–5	5–25	0–15	0–20	0–10	0–15
1311; 1311(2); 1312; 1313; 1313(4); 1314(3); 1314; 1314(5); 1315	35–75	35–75	15–45	0–20	0–20	25–55	15–40	5–25	0–5	0–5	0–5	0–20	0–15	0–15	0–15	0–15
1321; 1321(2); 1322(1); 1322; 1323; 1323(4); 1324(3); 1324; 1324(5); 1325; 1326(ТВ); 1326(ТП+ТВ); 1326(ТП); 1326(ТН+ТП); 1326(ТН)	20–45	35–75	30–65	10–35	10–25	15–40	15–45	10–35	0–20	0–20	0–5	5–25	0–15	0–15	0–15	0–10

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арманд, Д. Л. Наука о ландшафте / Д. Л. Арманд. – М. : Мысль, 1975. – 288 с.
- Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.] ; под общ. ред. В. В. Лапы, А. Ф. Черныша ; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : ИВЦ Минфина, 2017. – 170 с.
- Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия – Беларусь) / под ред. Ю. А. Израэля, И. М. Богдевича. – М. : Фонд «Инфосфера» – НИА-Природа ; Минск : Белкартография, 2009. – 140 с.
- Волков, С. Н. Землеустройство : учебник : в 9 т. / С. Н. Волков. – М. : Колос, 2001–2009. – Т. 2 : Землеустроительное проектирование. Внутрихозяйственное землеустройство. – 2001. – 648 с.
- География почв Беларуси : учеб. пособие / Н. В. Клебанович [и др.]. – Минск : БГУ, 2011. – 183 с.
- Геоинформатика : учебник : в 2 кн. / под ред. В. С. Тикунова. – М. : Академия, 2010. – 2 кн.
- Геостатистика: теория и практика / В. В. Демьянов, Е. А. Савельева ; под ред. Р. В. Арутюняна ; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. – М. : Наука, 2010. – 327 с.
- Геоportal земельно-информационной системы Республики Беларусь. – URL: <http://gismap.by/> (дата обращения: 25.04.2024).
- Горкунов, В. А. Структура почвенного покрова пахотных земель северо-восточной части Беларуси как основа оптимального землепользования : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.03 / В. А. Горкунов ; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 38 с.
- Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. URL: <http://gki.gov.by/gu/> (дата обращения: 29.04.2024).
- Деградация и охрана почв / под ред. Г. В. Добровольского. – М. : МГУ, 2002. – 654 с.
- Добротворская, Н. И. Структура почвенного покрова в системе агроэкологической оценки земель в лесостепи Западной Сибири : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.03 / Н. И. Добротворская ; ГНУ СибМНИИЗХим СО Россельхозакадемии. – Барнаул, 2009. – 39 с.
- Домрачева, А. Б. Пространственно-временное моделирование / А. Б. Домрачева. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 56 с.
- Земельно-информационная система Республики Беларусь. Порядок создания и ведения (эксплуатации, обновления) : ТКП 610-2017 (33520). – Введ. с 01.09.2017. – Минск ; Госкомимущество Респ. Беларусь, 2017. – 50 с.
- Земельно-информационная система Республики Беларусь. Порядок эксплуатации : ТКП. – Введ. 10.08.05. – № 141. – Минск : Ком. зем. ресурсов, геодезии и картографии, 2005. – 36 с.
- Инструкция о порядке разработки схем землеустройства районов : утв. Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь 29.05.2008, № 43 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2008. – № 8. – 19288.
- Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств : методика, технология, практика / Г. М. Мороз [и др.] ; под ред. Г. М. Мороза, В. В. Лапы. – Минск : ИВЦ Минфина, 2017. – 208 с.
- Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель. Технология работ : ТКП 302-2018 (33250) : введ. 01.09.2018. – Минск : Госкомимущество Респ. Беларусь, 2018. – 108 с.
- Каштанов, А. Н. Эрозия почв / А. Н. Каштанов. – М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2007. – 322 с.

Кирюшин, В. И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов / В. И. Кирюшин. – М. : КолосС, 2011. – 443 с.

Козловский, Ф. И. Теория и методы изучения почвенного покрова / Ф. И. Козловский. – М. : ГЕОС, 2003. – 536 с.

Клебанович, Н. В. Геоestatистическая оценка variability свойств почв / Н. В. Клебанович, А. Л. Киндеев // Вестник УдГУ. – 2018. – Т. 28. – № 1. – С. 91–102.

Клебанович, Н. В. Почвенное ГИС-картографирование : практикум / Н. В. Клебанович, А. А. Сазонов, А. Н. Червань. – Минск : БГУ, 2019. – 37 с.

Клебанович, Н. В. Почвоведение и земельные ресурсы : учеб. пособие / Н. В. Клебанович. – Минск : БГУ, 2013. – 343 с.

Ковин, Р. В. Геоинформационные системы : учеб. пособие / Р. В. Ковин, Н. Г. Марков. – Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2008. – 175 с.

Кодекс Республики Беларусь о земле : 23 июля 2008 г. № 425-З : принят Палатой представителей 17 июня 2008 г. : одобр. Советом Респ. Беларусь 28 июня 2008 г. : с изм. и доп. от 6 ноября 2008 г. № 447-З, 29 декабря 2009 г. № 73-З, 28 декабря 2008 г. № 96-З, 6 мая 2010 г. № 120-З // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2008. – № 187. – 2/1522.

Кравцова, В. И. Космические методы исследования почв : учеб. пособие / В. И. Кравцова. – М. : АспектПресс, 2005.

Кочуров, Б. И. Экодиагностика и сбалансированное развитие : учеб. пособие / Б. И. Кочуров. – М. : НИЦ ИНФРА, 2016. – 336 с.

Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь : метод. указания / И. М. Богдевич [и др.] ; под ред. И. М. Богдевича. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 48 с.

Кулик, К. Н. Использование ГИС-технологий при оценке антропогенной нагрузки на агроландшафты Волгоградского Заволжья / К. Н. Кулик, Н. А. Ткаченко, А. В. Кошелев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2 (52). – С. 161–163.

Курлович, Д. М. ГИС-анализ и моделирование : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович. – Минск : БГУ, 2018. – 200 с.

Курлович, Д. М. ГИС-технологии : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович, Н. В. Жуковская, О. М. Ковалевская. – Минск : БГУ, 2020. – 309 с.

Лопырев, М. И. Экологизация земледелия на ландшафтной основе / М. И. Лопырев. – Воронеж : Полиарт, 2004. – 127 с.

Лурье, И. К. Геоинформационное картографирование / И. К. Лурье. – М. : КДУ, 2010.

Методика агроэкологической оценки почвенно-ресурсного потенциала эрозийных и заболоченных агроландшафтов северной, центральной и южной провинций Беларуси / Н. Н. Цыбулько [и др.]. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2019. – 18 с.

Методические рекомендации на выполнение работ по созданию тематического слоя «Почвы» земельно-информационной системы. – Минск : Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь, 2006 г. – 63 с.

Митчелл, Э. Руководство Esri по ГИС-анализу : в 2 т. / Э. Митчелл, Л. С. Гриффин. – Т. 2 : Понимание пространственных измерений и статистик. – 2021. – ESRI RHSS. – 288 с.

Муравьев, А. Г. Оценка экологического состояния почвы. Практическое руководство / А. Г. Муравьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Кристалл, 2008. – 216 с.

Номенклатурный список почв Беларуси (для целей крупномасштабного картографирования) / Н. И. Смеян [и др.] ; Ин-т почвоведения и агрохимии ; Проект. ин-т «Белгипрозем». – Минск, 2003. – 43 с.

Охрана окружающей среды и природопользование Земли. Предотвращение деградации и восстановление деградированных мелиорированных сельскохозяйственных земель. Общие положения : ТКП 17.03-04-2014 (02120) : введ. 24.12.2014. – Минск : Минприроды, 2014. – 21 с.

Оценка степени устойчивости дерново-подзолистых почв Беларуси к агрогенным воздействиям / С. В. Шульгина [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 2(51). – С. 43–55.

Перцик, Е. Н. Территориальное планирование : учебник / Е. Н. Перцик. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2018. – 390 с.

Погуленко, А. А. Экологическая устойчивость агроландшафтов при использовании в пашне / А. А. Погуленко // Земледелие и химизация. – № 4. – 2013. – С. 5–10.

Полевая диагностика почв Беларуси : практ. пособие / Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь, Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии ; под ред. Г. С. Цытрон. – Минск : Учеб. центр подгот., повышения квалификации и переподгот. кадров землеустроит. картографо-геодез. службы. – Минск, 2011. – 175 с.

Пригодность почв Республики Беларусь для возделывания отдельных сельскохозяйственных культур: рекомендации / В. В. Лапа [и др.]. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. – 64 с.

Провести исследования и подготовить методические рекомендации и формы документов для разработки схем землеустройства районов : отчет о НИР (заключ.) / РУП БелНИЦзем. – Минск, 2008. – № ГР 20083431.

Разработка схемы землеустройства Пинского административного района. 2-й этап (апробирование и утверждение руководства (методических рекомендаций) по эколого-экономической оптимизации сельскохозяйственных земель) : отчет о НИР (заключ.) / РУП БелНИЦзем. – Минск, 2008. – № ГР 200773269.

Романова, Т. А. Диагностика почв Беларуси и их классификация в системе ФАО – WRB / Т. А. Романова ; РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси». – Минск, 2004. – 428 с.

Романова, Т. А. Теоретические основы и практическая значимость исследований структуры почвенного покрова / Т. А. Романова, А. Н. Червань, В. Л. Андреева // Почвоведение. – 2011. – № 3. – С. 300–310.

Савин, И. Ю. Анализ почвенных ресурсов на основе геоинформационных технологий : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / И. Ю. Савин ; Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. – М., 2004. – 246 с.

Система оценки устойчивости агроландшафтов для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов / Н. П. Масютенко [и др.]. – Курск : ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2013. – 50 с.

Система оценки экологической емкости агроландшафтов для формирования экологически устойчивых агроландшафтов / Н. П. Масютенко [и др.]. – Курск : ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2011. – 42 с.

Смеян, Н. И. Классификация, диагностика и систематический список почв Беларуси / Н. И. Смеян, Г. С. Цытрон // РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2007. – 220 с.

Технологическая документация на формирование почвозащитных систем земледелия в разных почвенно-эрозионных зонах Беларуси с применением ГИС-технологий / РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НПЦ по земледелию НАН Беларуси. – Минск, 2010. – 44 с.

Флоринский, И. В. Теория и приложения математико-картографического моделирования рельефа : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 25.00.33 / И. В. Флоринский ; Ин-т математ. проблем биологии РАН. – М., 2010. – 42 с.

Фридланд В. М. Структуры почвенного покрова мира / В. М. Фридланд. – М. : Мысль, 1984. – 235 с.

Цифровая базовая картографическая модель местности : руководство по созданию : утв. Ком. по земел. ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Респ. Беларусь : 1 октября 2002 г., № 144.

Червань, А. Н. Картографическое обеспечение управляемого адаптивно-ландшафтного земледелия в агроландшафтах Беларуси / А. Н. Червань // Агрофизика. – 2022. – № 1. – С. 21–29. – DOI: 10.25695/AGRPH.2022.01.04.

Червань, А. Н. Оценка и внутрирегиональные различия уязвимости почв сельскохозяйственных земель Белорусского Полесья к засухам в условиях потепления климата / А. Н. Червань, В. Б. Мельник, В. М. Яцухно // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2022. – Т. 66, № 4. – С. 444–453. – URL: <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-4-444-453>. (дата обращения: 26.07.2024).

Червань, А. Н. Типология геосистем Белорусского Полесья / А. Н. Червань, Ю. С. Давидович // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – № 2. – 2024. – С. 3–23.

Черныш, А. Ф. Оценка потенциала почвенно-земельных ресурсов сельскохозяйственных организаций Беларуси с применением ГИС и использование ее результатов при оптимизации землепользования / А. Ф. Черныш [и др.] // Вести Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. – № 3. – 2011. – С. 10–20.

Чиж, Д. А. Построение цифровой модели рельефа в программе SURFER : метод. указания по выполнению лаб.-практ. работ / Д. А. Чиж, А. Н. Червань. – Минск : БГУ, 2022. – 40 с.

Юртаев, А. А. Агроландшафтные исследования: теория и практика / А. А. Юртаев // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 15. – С. 217–221.

Якушев, В. П. Информационное обеспечение точного земледелия / В. П. Якушев. – СПб. : Изд-во ПИЯФ РАН, 2007. – 384 с.

ArcReview // Esri CIS. – URL: <https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/all.php>. (дата обращения: 25.07.2024).

Bolstad, P. GIS fundamentals: a first text on geographic information systems. GIS fundamentals / P. Bolstad ; Acton, MA White Bear Lake. – Minnesota : XanEdu, 2016.

Chervan, A. N. Soil Cover Patterns and Pedo- and Biodiversity of the Berezinsky Biospheric Reserve / A. N. Chervan, A. L. Kindeev, A. A. Sazonov // Eurasian Soil Science. 2022. – Vol. 55. – № 10. – P. 1348–1359. – DOI: 10.1134/S1064229322100027.

Classification and regression trees / L. Breiman [et al.]. – New York : Academic, 2017. – 368 p.

GIS-Lab. Географические информационные системы и дистанционное зондирование. – URL: <https://gis-lab.info/> (дата обращения: 22.07.2024).

Assessment framework of water conservation based on analytical modeling of ecohydrological processes / Zhang G. [et al.] // J. of Hydrology. – Vol. 630. – 2024. – 130646. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130646>. (date of access: 24.07.2024).

Jensen, J. R. Introductory Geographic Information Systems / J. R. Jensen, R. R. Jensen. – Boston : Pearson, 2013. – 195 p.

Haaren, C. Landschaftsplanung / C. Haaren. – Stuttgart, Elmer Verlag, 2004. – 214 p. (2014) SoilGrids1km – Global Soil Information Based on Automated Mapping / T. Hengl [et al.] ; PLoS ONE 9(8): e105992. – DOI: 10.1371/journal.pone.0105992.

IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. – № 106. – FAO : Rome.

Overview ArcGIS Pro. – URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/analysis/> (date of access: 26.07.2024).

Xiao, N. GIS Algorithms: Theory and Applications for Geographic Information Science & Technology. GIS Algorithms / N. Xiao. – 1 Oliver's Yard, 55 City Road London EC1Y 1SP : SAGE Publications, 2016.

Zhao B. Spatial Distribution of Soils by Salinization Level in Soligorsk District of Belarus / B. Zhao, A. Chervan // Природные ресурсы. – № 1. – 2024. – С. 5–12.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	4
1. ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ БЕЛАРУСИ: СОСТАВ, СТРУКТУРА, СОСТОЯНИЕ	5
1.1. Формализация почв в контексте классификации и номенклатуры.....	13
1.2. Геосистемный подход к структуре почвенного покрова. Картометрический анализ	25
1.3. Оценка состояния почвенного покрова	46
2. ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОЧВ И СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА.....	74
2.1. Почвенные базы данных: отечественный и зарубежный опыт.....	74
2.2. Цифровое почвенное картографирование.....	105
2.3. Данные дистанционного зондирования в ГИС-анализе почвенного покрова	122
3. ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА.....	135
ЗАДАНИЯ ПО ГИС-АНАЛИЗУ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА	158
ПРИЛОЖЕНИЯ	164
1. Типы земель в соответствии с почвенными комбинациями	164
2. Группы почвенных ареалов и почвенных комбинаций на примере водораздельных пространств.....	170
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	171

Учебное издание

Червань Александр Николаевич

**ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ
И ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА БЕЛАРУСИ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *Е. В. Демидова*

Художник обложки *А. А. Рабкевич*

Технический редактор *В. П. Явуз*

Компьютерная верстка *Л. В. Луцевич, Е. В. Севрук*

Корректор *Н. А. Ракуть*

Подписано в печать 26.03.2025. Формат 70×100/16. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 14,19. Уч.-изд. л. 13,12.

Тираж 40 экз. Заказ 207.

Белорусский государственный университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/270 от 03.04.2014.

Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.

Республиканское унитарное предприятие

«Информационно-вычислительный центр

Министерства финансов Республики Беларусь».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/41 от 29.01.2014.

Ул. Кальварийская, 17, 220004, Минск.