

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



МЕЖЕНКОВ АНТОН АЛЕКСАНДРОВИЧ

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ПОЧВЕННЫХ БАЗ ДАННЫХ (НА
ПРИМЕРЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

1.5.19. Почвоведение (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Ростов-на-Дону – 2023

Работа выполнена на кафедре почвоведения и оценки земельных ресурсов
Академии биологии и биотехнологии имени Д.И. Ивановского
Южного федерального университета

Научный руководитель: **Безуглова Ольга Степановна**
доктор биологических наук, профессор,
федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Южный федеральный
университет», Академия биологии и биотехнологии им. Д.И.
Ивановского, кафедра почвоведения и оценки земельных
ресурсов, профессор

Официальные оппоненты: **Алябина Ирина Олеговна**
доктор биологических наук, доцент по специальности
«Экология», федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет имени
М.В.Ломоносова», факультет почвоведения, кафедра
географии почв, профессор.

Чинилин Андрей Владимирович
кандидат биологических наук,
федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Федеральный информационный центр
«Почвенный институт имени В.В. Докучаева», отдел
генезиса, географии, классификации и цифровой
картографии почв, научный сотрудник

Защита диссертации состоится **22 ноября 2023 г. в 12:00** на заседании диссертационного совета ЮФУ801.01.01 по биологическим наукам на базе Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки 194/1, к. 712.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке им Ю. А. Жданова Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 21 Ж и на сайте Южного федерального университета <https://hub.sfedu.ru/diss/show/1319237/>

Автореферат разослан «___» ____ 2023 г.

Отзыв на автореферат в 2-х экз. (с указанием даты, полностью ФИО, учёной степени со специальностью, звания, организации, подразделения, должности, адреса, телефона, e-mail), заверенный печатью организации, просим направлять по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1, к. 804, ученому секретарю диссертационного совета ЮФУ801.01.01 Тимошенко А.Н., а также в формате pdf на e-mail: atimoshenko@sfedu.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Тимошенко Алёна Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. С нарастанием темпов сельскохозяйственного производства в Ростовской области увеличивается и потребность в проведении качественной агроэкологической оценки почв. Проведение агроэкологической оценки почв для территории региона требует привлечения всего объема накопленной почвенной информации, подготовленной к машинной обработке с использованием геоинформационных технологий. Таким образом актуальным является вопрос создания подходов для гармонизации материалов крупномасштабных почвенных обследований, формирования структуры и принципов хранения, обмена и анализа почвенной информации с возможностью использования этих данных для оценки почвенного плодородия.

Цель работы – разработка принципов использования разнородных природно-почвенных данных для проведения агроэкологической оценки почв Ростовской области.

Задачи исследования:

1. Провести инвентаризацию и оцифровку архивных материалов крупномасштабных почвенных обследований территории Ростовской области.
2. Разработать подход составления «бесшовной» крупномасштабной почвенной карты для территории Ростовской области как основы для проведения агроэкологической оценки почв.
3. Провести анализ почвенного покрова Ростовской области на основе оцифрованных материалов крупномасштабных почвенных обследований.
4. Провести оценку динамики состояния лесных полос территории Ростовской области с применением материалов дистанционного зондирования Земли.
5. Адаптировать методику агроэкологической оценки почв к внедрению в Ростовской области с учетом особенностей почвенного покрова региона и на основе баз данных крупномасштабных почвенных обследований и ГИС-технологий.

6. Разработать программные комплексы, автоматизирующие процессы расчета агроэкологической оценки почв и апробировать их путем расчета агроэкологической оценки для земельных участков.

Соответствие темы паспорту специальности. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.5.19. Почвоведение по п. 1 в части «Изучение структуры почвенного покрова, разработка принципов и методов почвенной картографии», по п.2 в части «Агроэкологическая оценка почв и учет земельных ресурсов», а также п. 3: «Научно-методические и практические вопросы почвенной информатики. Разработка почвенно-географических информационных систем. Почвенная метрология».

Положения, выносимые на защиту:

1. Проведение агроэкологической оценки почв с привлечением почвенных баз данных и ГИС-технологий требует использования большого массива почвенных данных, накопленного для региона. Вовлечение архивных почвенных данных в научный оборот и последующая их машинная обработка проводится путем гармонизации границ и названий почвенных выделов, а также разработки принципов хранения, обмена и анализа профильной почвенной информации, что способствует ускорению проведения агроэкологической оценки, а также уточнению её результатов.
2. Расчет оценочных показателей выполняется на основе унифицированной легенды почв Ростовской области, как результата анализа и декомпозиции наименований почв с последующим формированием на этой основе системы поправочных коэффициентов, учитывающих необходимый спектр почвенных свойств для расчета нормативной урожайности с целью оценки плодородия почв.
3. Полезащитные и противоэрозионные лесные полосы являются важной составляющей для поддержания оптимального микроклимата степных агроценозов и сохранения высокого плодородия почв. Оцифровка лесных полос с применением данных дистанционного зондирования Земли, позволяет

объективно оценить динамику изменения площади лесных насаждений. Состояние лесных полос необходимо учитывать при проведении агроэкологической оценки почв.

Научная новизна. Впервые разработан и апробирован подход гармонизации границ и наименований крупномасштабных цифровых почвенных карт Ростовской области на основе современных международных методик (методика FAO: <https://www.fao.org/global-soil-partnership/pillars-action/5-harmonization/ru/>).

Гармонизация выполнялась отдельно для картографических единиц (почвенных контуров) и для наименований почвенных выделов. Корректировка границ почвенных контуров проводилась с учетом истории земельного участка (при возможности, изучались границы контура, полученные в разные туры обследования), а также с привлечением данных по рельефу местности. При гармонизации наименований почвенных выделов проводилось их сопоставление с целью унификации и сохранения в названии всего набора почвенных свойств, доступного из исходных наименований. Данный подход положен в основу создания «бесшовной» крупномасштабной почвенной карты региона, что позволяет корректнее отображать информацию на цифровых почвенных картах.

Впервые разработан и апробирован подход оцифровки лесных полос по актуальным космическим снимкам с применением геоинформационных технологий. При оцифровке лесных полос используются датированные многоканальные снимки Landsat 8/9, на основе которых рассчитывается индекс NDVI и в дальнейшем определяются интервалы значений индекса, соответствующие древесной и кустарниковой растительности. Динамику изменения площадей лесных полос необходимо учитывать, поскольку они положительно влияют на микроклимат приземного слоя, снижают проявление эрозии и увеличивают плодородие почвы. Изменение состояния лесных полос предлагается учитывать в виде поправочных коэффициентов при проведении агроэкологической оценке почв при расчете различных показателей (например, нормативной урожайности).

Теоретическая значимость заключается в разработке подходов вовлечения

разнородных материалов почвенных обследований и данных дистанционного зондирования Земли в оценку плодородия почв. Использование этой информации в задачах агроэкологической оценки почв возможно при условии гармонизации наименований почвенных выделов. Результатом этой работы является унифицированный список-классификатор почв Ростовской области, созданный на основе анализа и декомпозиции наименований почв из легенд крупномасштабных карт.

Практическая значимость. Инвентаризация почвенных ресурсов на основе имеющихся оцифрованных почвенных карт и данных почвенных разрезов позволяет отобразить структуру почвенного покрова исследуемой территории и уточнить более раннюю информацию о почвенном покрове. Агроэкологическая оценка земель сельскохозяйственного назначения призвана отобразить состояние сельскохозяйственных угодий на момент оценки. Это позволяет составить рекомендации по рациональному использованию земельных ресурсов и спрогнозировать дальнейшие изменения состояния угодий. Проведение агроэкологической оценки с помощью инструментов и алгоритмов базы данных позволяет сформировать отчеты, которые используются при составлении проектов по адаптивно- ландшафтному земледелию.

Личный вклад автора. Автор принимал участие в процессе создания крупномасштабных цифровых почвенных карт в период с 2019 по 2023 гг. Автором был апробирован подход гармонизации границ и наименований почвенных контуров. Также автором был апробирован подход оценки динамики состояния лесных полос с применением архивной аграрно-почвенной информации и данных дистанционного зондирования.

Апробация работы. Основные положения исследования были представлены на конференциях: «V Вильямсовские чтения» (Москва, 2020); «Ломоносов 2021» (Москва, 2021); «V Международная научно-практическая конференция «Рациональное землепользование: оптимизация земледелия и растениеводства», посвященная 80-летию со дня рождения академика РАСХН А.П. Щербакова»

(Курск, 2021); «2-я Международная научно-практическая конференция «Устойчивое развитие территорий: теория и практика»» (Сибай, 2021); VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Сыктывкар, 2022); «Ломоносов 2022» (Москва, 2022); Международная молодежная научная школа «Мониторинг, охрана и восстановление почвенных экосистем в условиях антропогенной нагрузки» в рамках международного форума «Степная Евразия – устойчивое развитие», Ростов-на-Дону, 2022.

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 20 работ, из которых одна статья – в издании, входящем в базу данных международного индекса научного цитирования Scopus, три – в изданиях, входящих в Перечни рецензируемых научных изданий ЮФУ и ВАК, а также зарегистрированы программный комплекс «Атлас почв Ростовской области», веб-приложение «Почвенная карта Ростовской области» и «Цифровой реестр почв Ростовской области» (в соавторстве).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и четырех приложений. Работа изложена на 161 странице, содержит 20 таблиц, 28 рисунков и 9 приложений. Список литературы включает 147 источников из них 43 на иностранных языках.

Финансовая поддержка работы. Исследования проводились при финансовой поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

Благодарности. Соискатель выражает глубокую благодарность всем сотрудникам кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов, своему научному руководителю, профессору О. С. Безугловой, а также доценту кафедры Ю. А. Литвинову – учителю и наставнику, сыгравшему решающую роль в становлении автора как молодого ученого и специалиста.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В семи подразделах представлен обзор отечественной и зарубежной литературы по теме исследования. Рассмотрены такие вопросы, как история почвенно-географических исследований в России и Ростовской области, в том числе история развития цифровой почвенной картографии, особенности и задачи агроэкологической оценки земель сельскохозяйственного назначения, влияние полей защитных лесных полос на плодородие почв, базы данных почвенных ресурсов и опыт их использования в России, нормативно-правовая документация.

Глава 2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В главе приведена характеристика природных условий региона исследования (Ростовской области). В подглавах 2.1–2.6 представлена физико-географическая характеристика Ростовской области.

В подглаве 2.7 описывается сельскохозяйственное (<https://donland.ru/>) и геоморфологическое районирование (Крыщенко, 2010). На основе упомянутых материалов составлены картосхемы сельскохозяйственного и геоморфологического районирования Ростовской области (рисунок 1).

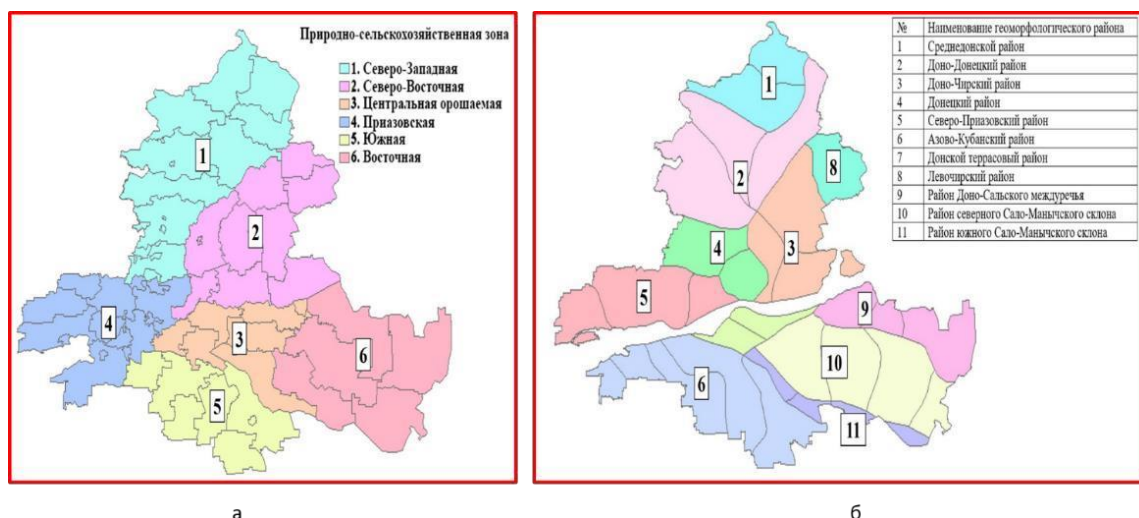


Рис. 1. Районирование Ростовской области: а – сельскохозяйственное районирование; б – геоморфологическое районирование

В подглаве 2.8 описаны используемые для решения задач исследования материалы почвенных обследований. Обширный картографический материал,

накопленный в результате изучения почвенного покрова России, включает и данные, полученные при обследовании почв Ростовской области. Все многообразие почвенных данных Ю. А. Литвинов (2018) свел в две большие группы, выделив в качестве «почвенного наследия» информацию, полученную более 15 лет назад, и утратившую свою актуальность (Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям, 1973; Методические указания, 2003). Вторую группу составляют актуальные почвенные данные, как результат недавно проведенных почвенных обследований. Их используют для принятия управленческих решений в области рационального природопользования и сельскохозяйственного производства.

Данные «почвенного наследия» для Ростовской области представлены крупномасштабными картами и отчетами почвенных обследований за период с 1964 по 1995 г. Также материалы представлены и среднемасштабными картами: почвенная карта С.А. Захарова 1939 года выпуска (переиздана в 1955 году с внесенными изменениями), почвенная карта ЮжНИИГипрозема под редакцией Е.М. Цвылева 1985 года представляет собой генерализацию результатов крупномасштабных почвенных обследований территории Ростовской области, карта почвообразующих пород 1977 года под редакцией Г.Г. Клименко.

Глава 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В главе представлены методы, использованные при выполнении диссертационного исследования. В подглаве 3.1 описаны методы оцифровки материалов почвенного обследования с применением геоинформационных технологий. В разделе 3.1.1 описана методика оцифровки крупномасштабных почвенных карт, изложены её особенности. В разделе 3.1.2 описана методика оцифровки почвенных разрезов из отчетов почвенных обследований ЮжНИИгипрозема, предполагающая уточнение названий почвенных контуров из легенд почвенных карт.

В подглаве 3.2 описывается методика выделения элементарных почвенно-земельных участков, представляющих собой результат пересечения почвенной карты и земельных участков. Таким образом, формируются участки, однородные по сельскохозяйственному использованию и почвенному покрову.

В подглаве 3.3 описаны методы гармонизации, т. е. приведение к сопоставимому виду почвенной информации из очерков и легенд почвенных карт. В подглаве 3.4 описана методика расчета нормативной урожайности, предложенная П. М. Сапожниковым и утвержденная приказом Министерства экономического развития РФ «Об утверждении методических указаний по государственной кадастровой оценке земель сельскохозяйственного назначения» № 445 от 20.09.2010 г.

В подглаве 3.5 представлена методика оцифровки лесных полос с применением данных дистанционного зондирования Земли (космических снимков). С помощью многоканальных почвенных снимков Landsat 8 и растра с рассчитанным на их основе нормализованным индексом растительности (NDVI) извлекаются значения индекса, соответствующие древесной и кустарниковой растительности. Таким образом, формируется слой, отражающий состояние лесных полос на заданном участке. Также описывается метод оцифровки лесных полос непосредственно по космическому снимку высокого разрешения.

Глава 4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В главе представлены основные результаты исследования. В подглаве 4.1 представлены результаты оцифровки архивных материалов крупномасштабного почвенного обследования Ростовской области. В разделе 4.1.1 изложены результаты инвентаризации архивных материалов крупномасштабного почвенного обследования Ростовской области. Рассмотрено состояние сканированных растровых почвенных карт, а также факторы, влияющие на ухудшение качества изображения. В разделе 4.1.2 представлен результат работы по формированию унифицированного списка-классификатора почв Ростовской области с учетом таксономических уровней (таблица 1). Список включает в общей сложности 320 уникальных наименований.

Таблица 1. Количество уникальных наименований почвенных таксонов.

Наименование таксона	Количество уникальных наименований
Тип	37
Подтип	33
Род	29
Мощность A+B	9
Содержание гумуса	10
Глубина залегания легкорастворимых солей	16
Заболоченность, оглеение	7
Мощность и характер намытой толщи	12
Направление трансформации ландшафта	4
Степень засоления	12
Ветровая эрозия	13
Солонцеватость	7
Погребенные почвы	2
Линейная водная эрозия	10
Каменистость/щебнистость	25
Плоскостная водная эрозия	8
Степень осолодения	5
ГМС	33
Почвообразующая порода	47
Всего	320

В разделе 4.1.3 представлены результаты оцифровки почвенных карт Ростовской области по методике, разработанной на факультете почвоведения МГУ им.

Ломоносова и на кафедре почвоведения и оценки земельных ресурсов ЮФУ. Оцифровано порядка 608 крупномасштабных почвенных карт для 43 районов Ростовской области. Результат создания гармонизированной крупномасштабной почвенной карты представлен на рисунке 2.

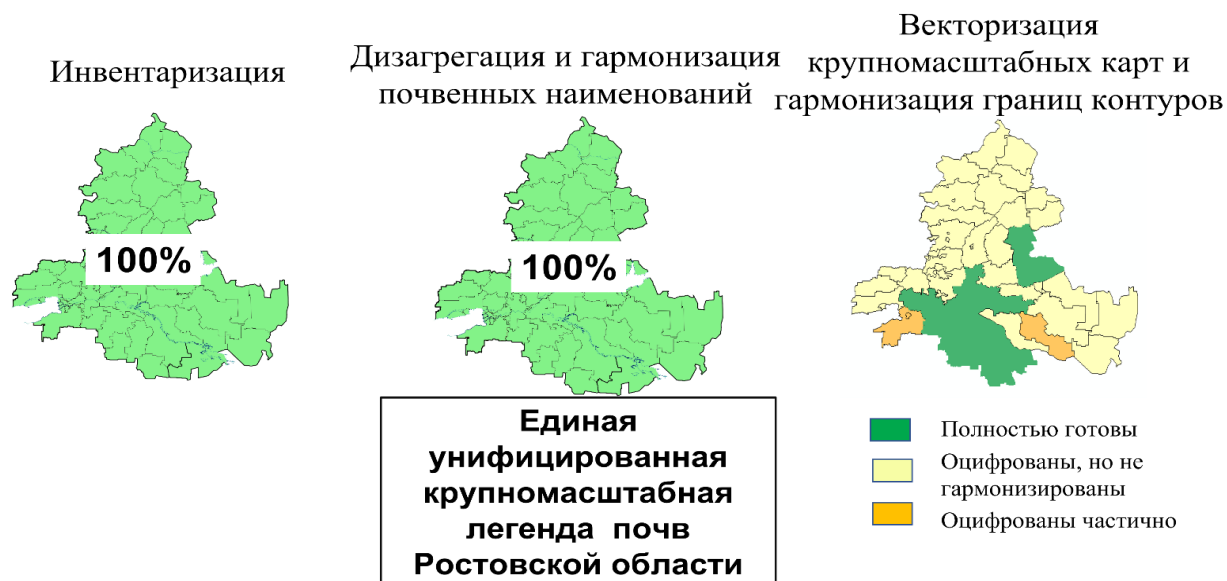


Рис. 2. Результат формирования цифровой крупномасштабной почвенной карты Ростовской области

В подглаве 4.2 описан подход к гармонизации границ почвенных контуров наименований почвенных выделов (рисунок 3). Для решения задач сведения границ почвенных выделов смежных хозяйств использовали следующий подход:

1. Формирование проекта в пакете программ ArcGIS 10.8, включающего в себя векторные почвенные карты хозяйств, топографические карты ВИСХАГИ в масштабе 1:25000, актуальные спутниковые снимки в высоком разрешении из различных источников (3-6 м/пиксель), цифровая модель высот (ALOS 30 м). Для топографических карт предварительно выполнялась пространственная привязка. Использовали географическую систему координат WGS 84.
2. Анализ почвенных выделов на границе хозяйств с целью обнаружения несоответствий в геометрии и атрибутике полигонов векторной карты. Все несоответствия разбивались на следующие группы: а) незначительные расхождения в границах выделов, наименование почв полностью совпадают; б) незначительные расхождения в границах выделов, но наименования отличаются сильно (разный состав почвенных комбинаций, отличие в отображении негативных почвенных признаков); в) значительные расхождения в границах почвенных выделов, при незначительных отличиях в наименовании выделов; г)

значительные расхождения и в геометрии контуров, и в их наименованиях.

3. Сведение границ почвенных выделов. При незначительных расхождениях в границах выделов выполнялось их сведение с привлечением актуальных спутниковых снимков и цифровых моделей высот. При значительных расхождениях для изменения границ почвенных выделов привлекали топографические карты ВИСХАГИ, на основе которых выполняли коррекцию границ в соответствии с общесоюзной инструкцией по почвенным обследованиям (1973) и методическими рекомендациями ЮЖГИПРОЗема.
4. Работа с атрибутивной информацией. Для почвенных выделов с незначительными отличиями в наименовании выполнялось их объединение и обобщение. Если расхождения касались только таксонов ниже рода, выполнялось их обобщение без формирования комплекса или сочетания. В случае различий на уровне подтипа или типа формировался почвенный комплекс или сочетание. Вклад каждой почвы рассчитывали исходя из площади выделов, которые подвергались объединению.
5. Проверка почвенной карты на предмет ошибок, связанных с топологией, некорректной геометрией и атрибутикой.

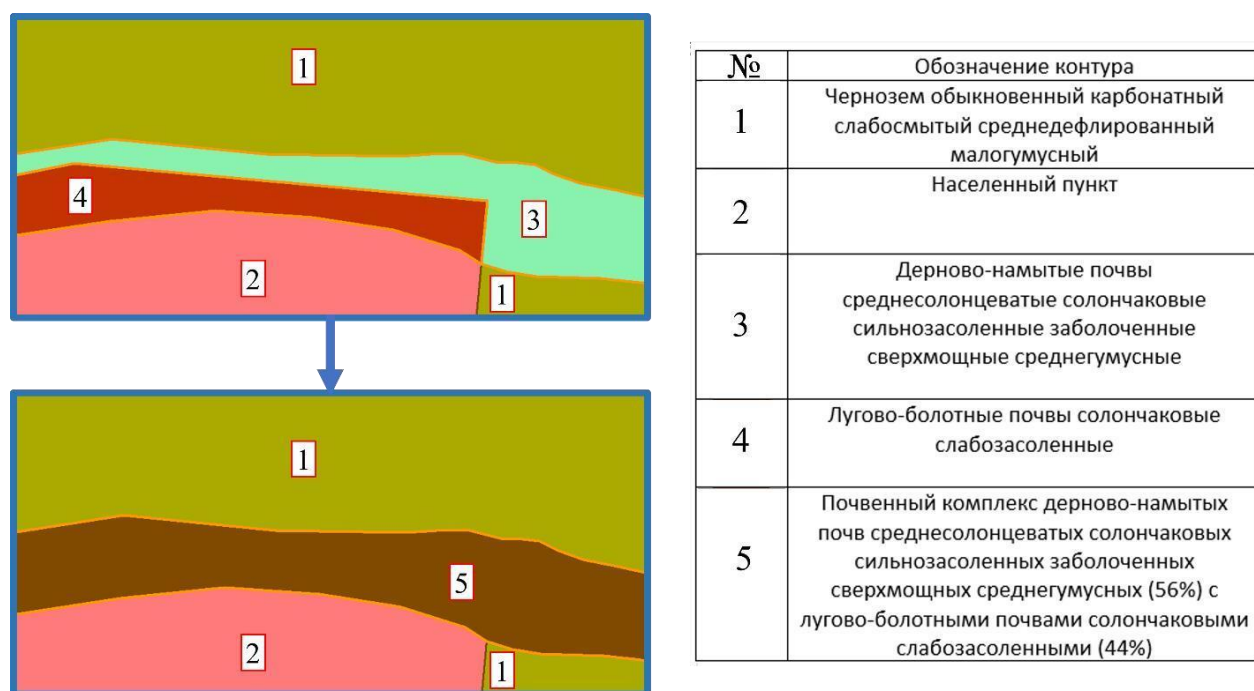


Рис. 3. Результат сведения почвенных карт без корректировки границ

В подглаве 4.3 описан анализ и инвентаризация почвенного покрова региона с применением ГИС-технологий. Структура почвенного покрова дана здесь с использованием геоморфологического районирования Ростовской области по В.

С. Крыщенко (рис. 16). Помимо основных типов почв, характерных для каждого почвенного района и подрайона, были выявлены и основные негативные признаки, влияющие на плодородие почв. Приведено также сравнение площади почвенного покрова, подверженной плоскостной водной эрозии, рассчитанной методами классической почвенной картографии и методами цифровой почвенной картографии. По данным ЮжНИИгипрозема 2,9 млн га земель сельскохозяйственного назначения в различной степени нарушены водной эрозией. По данным цифровых крупномасштабных почвенных карт плоскостной водной эрозии подвержены 2,82 млн га сельскохозяйственных земель. В том числе порядка 2,1 млн га приходится на слабосмытые почвы, 524 тыс. га приходится на среднесмытые и 144 тыс. га на сильносмытые почвы. Таким образом, данные, полученные методами классической и цифровой почвенной картографии, являются сопоставимыми. Помимо этого, данные цифровой почвенной картографии позволяют по запросу детализировать данные о степени выраженности искомого признака (в данном случае, плоскостной водной эрозии).

В подглаве 4.4 представлены результаты оценки состояния лесных полос с применением геоинформационных технологий. В разделе 4.4.1 приведены результаты оцифровки лесных полос, как объекта, обеспечивающего оптимальный режим почв и препятствующего развитию водной и ветровой эрозии (Нарожняя, 2020), на примере территории Малоорловского сельского поселения Мартыновского района Ростовской области. Исследовались данные, полученные при оцифровке методом ручной векторизации по космическому снимку и методом оцифровки лесополос по слою с рассчитанным индексом NDVI.

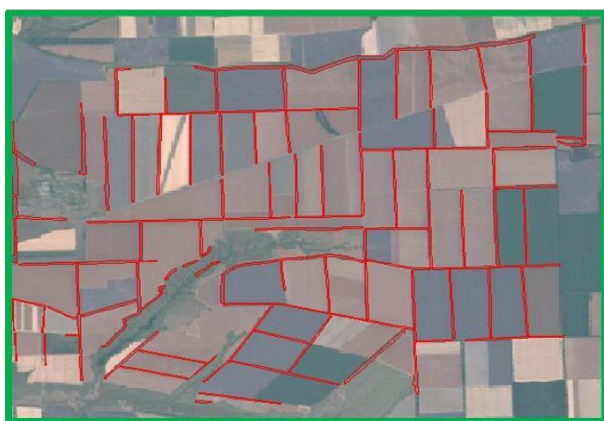
Метод оцифровки лесополос с использованием NDVI предполагает расчет индекса с использованием многоканальных растров, сделанных спутником Landsat 8 в период максимальной вегетационной активности (май – июль) (Безуглова и др., 2022). Расчет индекса NDVI представляет собой отношение разности и суммы значений ближнего инфракрасного и красного каналов. Путем анализа полученного растра выбираются значения индекса, соответствующие древесной и

кустарниковой растительности.

Путем автоматического создания векторных полигонов и удаления ненужных объектов получаем слой, представленный исключительно кустарниковой и древесной зеленой растительностью. С использованием космического снимка удаляем из векторного слоя объекты, покрывающие поля, засеянные многолетними насаждениями и сидеральными культурами, а также иные объекты (например, если необходимы только полевые защитные лесополосы, то необходимо также удалить из слоя участки с противоэрозионными лесополосами). Следует отметить, что в каждом случае значение индекса подбирается индивидуально для каждой области, для которой необходимо провести оцифровку лесных полос.

Другой способ оцифровки лесных насаждений заключается в поиске оператором на космическом снимке высокого разрешения лесной полосы и создание полигонального объекта по её очертаниям. Так векторизуются все лесные полосы в заданных границах (хозяйства бывшего СССР, сельское поселение и др.). Этим методом могут быть оцифрованы полевые защитные и противоэрозионные лесные полосы, а также лесные массивы лесхозов и государственного лесного фонда. Сравнение результатов оцифровки разными способами представлено на рисунке 4.

Ручная векторизация



Метод подбора индекса NDVI

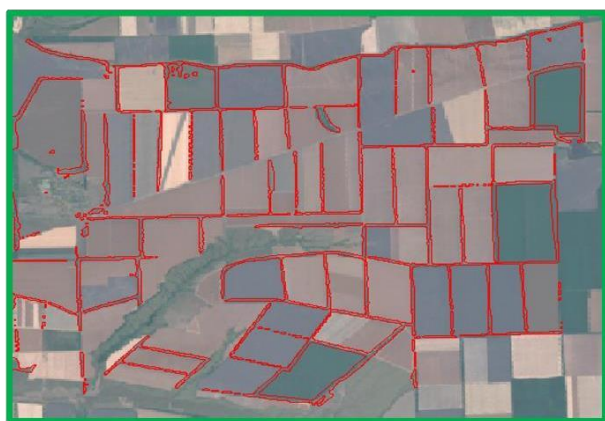


Рис. 4. Результат векторизации лесных полос с наложением космического снимка

Сравнение результатов оцифровки по площади в гектарах (таблица 2) показало, что инструментальным методом оцифрованной оказывается несколько

большая площадь, чем при ручной векторизации. Связано это, в первую очередь, с тем, что при подборе значения индекса NDVI выделяются также и участки с изреженным лесным покровом, которые зачастую могут не учитываться оператором при проведении ручной векторизации. Таким методом возможна точечная оцифровка лесных насаждений.

Таблица 2. Распределение площади оцифрованных участков лесных полос в зависимости от выбранного метода векторизации

Способ оцифровки	Площадь (га)
Ручная векторизация	1897.5
Подбор индекса NDVI	2036.1

В разделе 4.4.2 была проведена оценка состояния лесных полос для Малоорловского сельского поселения Мартыновского района и Калиновского сельского поселения Азовского района с использованием снимков Landsat 8 за июнь 2013 года и июль 2022 года. Результаты оценки представлены в таблице 3.

Таблица 3. Динамика площади лесных полос в сельских поселениях Ростовской области

Год получения снимка	Площадь (га)	Убыль	
		га	%
Малоорловское сельское поселение, Мартыновский район			
2013	2084,2	-	-
2022	2036,1	48,1	2,31
Калиновское сельское поселение, Азовский район			
2013	1465,7	-	-
2022	1451,7	14	0,93

Для Малоорловского сельского поселения Мартыновского района наблюдается небольшое снижение площади лесополос (на 48,1 га). Выпадение

лесных полос может объясняться климатическими особенностями региона, ненадлежащим контролем их состояния, а также целенаправленным сведением лесных полос в целях преобразования участков под иной вид использования, например, под орошаемую пашню.

Результаты по Калиновскому сельскому поселению Азовского района показывают, что изменения площади практически нет. Это объясняется благоприятным для произрастания древесной и кустарниковой растительности климатом Приазовья.

В подглаве 4.5 представлена агроэкологическая оценка почв посредством расчета нормативной урожайности с использованием архивных материалов почвенных обследований и данных дистанционного зондирования Земли, обработанных методами искусственного интеллекта. Расчет нормативной урожайности осуществляется по формуле 1:

$$U_H = 33,2 \times 1,4 \times A_P / 10 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4, \quad (1)$$

где:

U_H – нормативная урожайность зерновых культур, ц/га;

A_P – величина агроклиматического потенциала по агроклиматической подзоне для зерновых культур;

10,0 – базовое значение величины A_P ;

33,2 – нормативная урожайность (ц/га) зерновых культур на эталонной почве, соответствующая нормам зональных технологий при базовом значении A_P (10,0);

1,4 – коэффициент пересчета на уровень урожайности при интенсивной технологии возделывания культур;

$K_1... K_4$ – поправочные коэффициенты:

K_1 – на содержание гумуса в пахотном слое;

K_2 – на мощность гумусового горизонта;

K_3 – на содержание физической глины в пахотном слое;

$K_4.1... K_4.n$ – на негативные свойства почв.

В подпункте 4.5.1 показано вычисление коэффициентов для расчета нормативной урожайности зерновых культур на основе архивных и актуальных материалов почвенного и агрохимического обследований. Для расчета коэффициента K1 используются, в первую очередь, актуальные данные агрохимического обследования и уже при их отсутствии – данные почвенных обследований.

Для коэффициентов K2 – K4 используются исключительно данные почвенных обследований, извлеченные из наименований соответствующих почвенных таксонов, и усредненные, если тестовое наименование подразумевает диапазон значений (например, для коэффициента K2 «маломощным» черноземам соответствуют глубины 20–40 см. для вычисления коэффициента берется значение 30 (среднее арифметическое), что соответствует значению поправочного коэффициента 0.92 (таблица 4).

Таблица 4. Фрагмент таблицы поправочных коэффициентов на мощность гумусовых горизонтов A+B (данные почвенного обследования)

Подтип почв	Мощность гумусовых горизонтов согласно легенде почвенной карты	Мощность гумусовых горизонтов, см	Поправочный коэффициент K2
Черноземы обыкновенные	сверхмощные	120	1.15
Черноземы обыкновенные	среднемощные	60	1.03
Черноземы обыкновенные	Среднемощные и мощные	80	1.085
Черноземы южные	маломощные	30	0.92
Черноземы южные	маломощные и среднемощные	45	0.98
Черноземы южные	мощные	100	1.125
Черноземы южные	сверхмощные	120	1.15
Черноземы южные	среднемощные	60	1.03

В K4 поправочные коэффициенты рассчитывали на такие негативные свойства почв как: содержание легкорастворимых солей (засоленность),

солонцеватость, мощность надсолонцового горизонта (для солонцов), каменистость, уклон местности.

В разделе 4.5.2 апробирован расчет предложенного поправочного коэффициента на состояние лесных полос. Необходимо учитывать способность лесных полос к защите сельскохозяйственных культур от неблагоприятного воздействия внешних факторов. Изреженная лесная полоса перестает выполнять свои функции, тем самым снижается плодородие почв на полях, которые она должна защищать. Однако, лесная полоса, заросшая кустарником, которая визуально на снимке видна как цельная лесная полоса, на деле также характеризуется снижением своей защитной функции из-за уменьшения высоты древостоя, либо за счет ухудшения продуваемости.

Расчет площадей лесных полос ведется по границам хозяйств бывшего СССР, поскольку за эталонные значения берется площадь лесных полос, указанная в отчете крупномасштабного почвенного обследования ЮжНИИГипрозема, так как за состоянием лесополос до распада Советского Союза следили строже. Однако динамика площадей лесных полос в некоторых пределах считается нормой. Допустимая динамика площадей лесополос оценивалась по архивным материалам из очерков разных туров обследования для одних и тех же хозяйств. В среднем, изменения площадей составляют порядка 5%. Таким образом, можно считать изменения площадей лесных полос на 5% допустимыми (не приводящими к присвоению хозяйству понижающего коэффициента) с присвоением коэффициента 1. Изменения, превышающие допустимые 5%, но не превышающие 35% (площадь лесных полос снижается, но защитная функция лесных полос критически не снижается (защитная функция распространена на 200-250 метров)), то выставляется коэффициент 0,9. Изменения, превышающие 35% в сторону снижения или увеличения площади лесных полос существенно влияют на состояние полей. Зона, на которую распространяется защитное действие таких лесополос снижена до 150 метров и менее. Таким хозяйствам будет присваиваться понижающий коэффициент 0,8.

Для примера рассчитан поправочный коэффициент для 3 хозяйств Ростовской области: колхоза «Красный партизан» Ремонтненского района, колхоза «имени Калинина» Усть-Донецкого района и совхоза «имени Ленина» Неклиновского района. Для хозяйства «Красный партизан» за период с 1991 по 2017 год площадь лесных полос значительно уменьшилась (на 70,3% по данным векторизации по космическому снимку и на 62,8% по данным из слоя NDVI), в связи с чем хозяйству присвоен коэффициент 0,8. Для колхоза «имени Калинина» по данным векторизации по космическому снимку площадь лесных полос снизилась на 33,5%, а по данным из слоя NDVI – на 29,5%. Это выходит за пределы допустимого отклонения в 5%, но не превышает 35%, когда лесная полоса фактически перестает выполнять свою защитную функцию. Для такого хозяйства присваивается коэффициент 0,9. Для хозяйства «им. Ленина» с 1991 по 2022 гг. снижение площади составило 2,9% при ручной оцифровке по космическому снимку и 5% по слою NDVI. Изменение площади составляет до 5%, поэтому присваивается нивелирующий коэффициент 1.

В подглаве 4.6 описывается работа по разработке программного комплекса агроэкологической оценки земель сельскохозяйственного назначения. В разделе 4.6.1 описана структура и принципы функционирования почвенной базы данных. В разделе 4.6.2 рассматривается работа программного комплекса «Паспорт плодородия кадастрового участка» на базе почвенно-географической системы ЮФУ. Почвенно-географическая система Южного федерального университета является программным комплексом, задача которого заключается в формировании паспорта заданного кадастрового участка по форме, представленной в приказе Министерства сельского хозяйства РФ № 164 от 13 марта 2023 года. В отличие от оригинала приказа, был добавлен пункт «Нормативная урожайность», являющийся важным показателем, поскольку является одной из важных составляющих при расчете кадастровой стоимости и является важным при оценке потенциального плодородия почвы.

Программный комплекс работает с проектами, создаваемыми под

конкретного заказчика. Все необходимые данные (почвенные контуры, разрезы и пр.) выгружаются для конкретного кадастрового участка. Отчет выдается также исключительно для заданного кадастрового участка по номеру заказа (проекта) и ИНН заказчика.

В разделе 4.6.3 представлена работа подсистемы расчета нормативной урожайности зерновых культур. Она представлена в программном комплексе «Почвенно-географическая система Южного федерального университета», на официальном сайте проекта «Почвенно-географическая база данных России» и на главной странице сайта ФГБУ ГЦАС «Ростовский».

Отличительной особенностью алгоритма является использование в расчете нормативной урожайности разнородных архивных и актуальных почвенно-агрохимических данных. Для расчета коэффициентов используются структурированные данные из легенд почвенных карт и очерков почвенных обследований. Алгоритм используется для составления отчетной документации в ФГБУ ГЦАС «Ростовский». Программа формирует отчет по запросу.

ВЫВОДЫ

1. Проведена инвентаризация и оцифровка порядка 608 крупномасштабных (1:10000–1:25000) почвенных карт колхозов и совхозов Ростовской области, выполненных в период с 1955 по 1995 годы. На основе легенд крупномасштабных почвенных карт и отчетов почвенных обследований сформирован список классификатор наименований почвенных таксонов для территории региона.

2. Создание цифровой крупномасштабной «бесшовной» почвенной карты Ростовской области для проведения агроэкологической оценки и инвентаризации почв региона потребовало сформировать подход к гармонизации границ и наименований почвенных контуров с привлечением данных топографических карт ВИСХАГИ (изолинии) и данных дистанционного зондирования Земли. Суть подхода заключается в объединении и корректировке

границ контуров на стыке между смежными хозяйствами с использованием данных спутниковых снимков и изолиний. После корректировки такой почвенный контур представляет из себя комплекс, включающий наименования почв, которые были объединены с учетом площади подвергнутых корректировке контуров в виде процентного участия в почвенной комбинации.

3. Анализ почвенного покрова на основе бесшовной крупномасштабной почвенной карты показал, что основными негативными признаками для территории региона являются свойства, обусловленные следующими деградационными процессами: плоскостная водная эрозия (смытость) – 30% территории области, ветровая эрозия (дефляция) – 11%, засоление – 4%, каменистость – 3%, солонцеватость – 20%, солончаковатость – 7%. Эти показатели в виде поправочных коэффициентов будут задействованы при расчете нормативной урожайности для территории Ростовской области.

4. Оцифровку лесных полос с привлечением материалов дистанционного зондирования Земли и архивных почвенных данных можно использовать для мониторинга состояния полегающих и противоэрозионных лесных насаждений. На примере ряда хозяйств и сельских поселений Ремонтненского, Мартыновского, Усть-Донецкого, Неклиновского и Азовского районов Ростовской области за период с 2013 по 2022 гг. для сельских поселений и с 1991–1992 гг. по 2017–2022 гг. для хозяйств показано, что динамика площадей лесных полос варьирует от практически отсутствия изменений (0,93% в Калиновском сельском поселении Азовского района) до значительного снижения лесистости (70,3% в совхозе «Красный партизан» Ремонтненского района).

5. В адаптированной методике агроэкологической оценки почв с учетом особенностей почвенного покрова Ростовской области при вычислении поправочных коэффициентов, использующихся в методике расчета нормативной урожайности, применяются данные крупномасштабных почвенных обследований. Наименования таксонов почв переводятся в числовые показатели, из которых в свою очередь вычисляются коэффициенты. Предложено добавить поправочный коэффициент, учитывающий состояние лесных полос на территории хозяйства.

6. Разработан и апробирован программный комплекс для проведения агроэкологической оценки почвенного покрова Ростовской области. Таким программным комплексом является почвенно-географическая система ЮФУ, задачей ее является формирование паспорта плодородия кадастрового участка по форме, представленной в приказе Министерства сельского хозяйства РФ №164 от 13.03.2023 г. Предложено добавить пункт «Нормативная урожайность», которого нет в оригинале приказа. Этот показатель является важным при расчете кадастровой стоимости. Также он используется при оценке потенциального плодородия почвы.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

По материалам исследования опубликовано 20 работ. Основные из них приведены ниже.

Статьи, опубликованные в журналах, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и/или Web of Science:

1. Динамика деградации земель в Ростовской области / Безуглова О. С., Ильинская И. Н., Закруткин В. Е., Назаренко О. Г., Литвинов Ю. А., Гаевая Э. А., Меженков А. А., Жумбей А. И. // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2022. – Т. 86, № 1. – С. 41–54. – DOI 10.31857/S2587556622010034

Статьи, опубликованные в журналах, входящих в Перечни рецензируемых научных изданий ЮФУ и ВАК:

2. Алгоритм расчета нормативной урожайности зерновых культур с привлечением разнородных аграрно-почвенных данных (на примере почвенного дата-центра ФГБУ ГЦАС Ростовский) / Меженков А. А., Безуглова О. С., Назаренко О. Г., Кайдалова Н. В. // АгроЭкоИнфо. – 2023. – № 2. – DOI: 10.51419/202132237. – Режим доступа:

http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/2/st_237.pdf. (дата обращения 01.09.2023).

3. Разработка алгоритма гармонизации крупномасштабных почвенных карт для задач агроэкологической оценки земель сельскохозяйственного назначения / Меженков А. А., Безуглова О. С., Кучменко Е. В., Жолудев Р. О. // АгроЭкоИнфо. – 2023. – № 2. – DOI 10.51419/202132252. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/2/st_252.pdf. (дата обращения 01.09.2023).

4. Меженков, А. А. Оценка состояния лесных полос при расчете нормативной урожайности зерновых культур (на примере Ростовской области) / Меженков А. А.,

Безуглова О. С., Литвинов Ю. А. // Живые и биокосные системы. – 2023. – №45. – DOI 10.18522/2308-9709-2023-45-3. – Режим доступа: <https://jbks.ru/archive/issue-45/article-3> (дата обращения 04.09.2023).

Свидетельства о регистрации электронного ресурса:

5. Электронный атлас почв Ростовской области v.2 : № ОФЭРНиО 23806 : дата регистрации 09.10.2018 / Безуглова О. С., Голозубов О. М., Литвинов Ю. А., Болдырева В. Э., Минаева Е. Н., Меженков А. А., Сухарев А. А. // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. – 2018. – № 10(113). – С. 24. – DOI 10.12731/ofernio.2018.23806. – Режим доступа: <http://ofernio.ru/portal/newspaper/ofernio/2018/10.pdf> (дата обращения 01.09.2023).

6. Веб-приложение "Почвенная карта Ростовской области" : № ОФЭРНиО 24536 : дата регистрации 21.06.2020 / Безуглова О. С., Назаренко О. Г., Голозубов О. М., Голозубов Д. О., Минкина Т. М., Цвылев Е. М., Кайдалова Н. В., Литвинов Ю. А., Минаева Е. Н., Болдырева В. Э., Меженков А. А. // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. – 2020. – № 6(133). – С. 18. – DOI: 10.12731/ofernio.2020.24536. – Режим доступа: <http://ofernio.ru/portal/newspaper/ofernio/2020/6.pdf> (дата обращения 01.09.2023).

7. Цифровой реестр почв Ростовской области : № ОФЭРНиО 24552 : дата регистрации 09.07.2020 / Безуглова О. С., Назаренко О. Г., Голозубов О. М., Морозов И. В., Минкина Т. М., Цвылев Е. М., Кайдалова Н. В., Литвинов Ю. А., Минаева Е. Н., Болдырева В. Э., Меженков А. А. // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. – 2020. – № 7(134). – С. 16. – DOI: 10.12731/ofernio.2020.24552. – Режим доступа: <http://ofernio.ru/portal/newspaper/ofernio/2020/7.pdf> (дата обращения 01.09.2023).