



Гришин И.Ю.

Тимиргалеева Р.Р.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ВИНОГРАДНЫХ АГРОЦЕНОЗОВ

МОНОГРАФИЯ

2021



ФГБОУ ВО «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА»

ФГАОУ ВО «КРЫМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И. ВЕРНАДСКОГО»

Гришин И.Ю. Тимиргалеева Р.Р.

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ
ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ
СОСТОЯНИЯ ВИНОГРАДНЫХ АГРОЦЕНОЗОВ**

МОНОГРАФИЯ

Майкоп
ЭЛИТ
2021

УДК 528.88

ББК 40

К64

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научного проекта № 20-016-00220.*

Авторы:

ГРИШИН

Игорь Юрьевич

доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова»

ТИМИРГАЛЕЕВА

Рена Ринатовна

доктор экономических наук, профессор,
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет
имени В.И. Вернадского»

Рецензенты:

Атрощенко В.А.,

доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический
университет»

Мицай Ю.Н.,

доктор физико-математических наук, профессор, ФГАОУ ВО
«Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»

Гришин, И.Ю.

К64 **Концептуальные основы формирования системы дистанционной диагностики состояния виноградных агроценозов [Электронный ресурс] : электронное научное издание (монография) / И.Ю. Гришин, Р.Р. Тимиргалеева – Электрон. дан. (1,6 Мб). – Майкоп: ЭлИТ, 2021. – Режим доступа: <https://201824.selcdn.ru/elit-137/pdf/9785604580219.pdf> . ISBN 978-5-6045802-1-9 doi 10.34754/EP.2021.87.81.001**

В настоящее время спутниковые технологии наблюдения позволяют получать объективную количественную информацию о различных объектах и явлениях. Это, в частности, позволяет создавать новые информационные технологии и системы для наблюдения и изучения различных процессов, происходящих в биогеоценозах и агроценозах. В то же время изучение различных видов агроценозов имеет свою специфику, которая требует создания специализированных информационных систем, позволяющих обеспечивать получение и анализ однородной по времени и пространству информации. В этом случае необходимо создавать специальные информационные технологии наблюдения таких объектов. При этом должны быть определены различные характеристики исследуемых объектов, которые могут быть восстановлены на основе данных дистанционных наблюдений и быть использованы для оценки их состояния и прогнозов развития. Указанные задачи могут быть эффективно решены только в привязке к определенным типам объектов исследования.

УДК 528.88

ББК 40

ISBN 978-5-6045802-1-9



9 785604 580219

doi 10.34754/EP.2021.87.81.001



© Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, 2021
© Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского, 2021
© Гришин И.Ю., Тимиргалеева Р.Р., 2021
© Оформление электронного издания
ООО «ЭЛИТ», 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1 КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ..	11
1.1 Анализ современного состояния исследований	11
1.2 Обоснование необходимости дистанционной диагностики состояния виноградных агроценозов на основе применения современных цифровых технологий	24
1.3 Оценка свойств почв как основа их дешифрования по данным дистанционного зондирования	39
Глава 2 ОБСЛЕДОВАНИЕ, КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ ПОЧВ.....	46
2.1 Научно-методические аспекты дистанционного мониторинга почв .	46
2.2 Методы обследования и картографирования почв.....	55
2.3 Дистанционные методы и средства мониторинга и оценки плодородия почв.....	65
Глава 3 РАЗВИТИЕ ОСНОВНЫХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ.....	74
3.1 Информационная система мониторинга состояния сельскохозяйственной территории.....	74
3.2 Дистанционное диагностирование плодородия виноградных агроценозов.....	93
3.3 Поисковая система для решения задач управления на основе генетического алгоритма с оператором мутации k-средних	101
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	114

На современном этапе хозяйствования для осуществления научно-технологического прорыва в сельскохозяйственном производстве необходимым является применение цифровых технологий, что, в свою очередь, требует более совершенной методологической и инструментальной базы информационного обеспечения новых технологий. Важнейшим ресурсом информационного обеспечения современных систем земледелия являются методы и средства дистанционного зондирования агроэкосистем. Традиционная практика получения информации, ее переработки и представления не соответствует требованиям, предъявляемым к полноте пространственно распределенной информации и ее достоверности. Сегодня необходимы мобильные и стационарные средства сопряженного наземного и дистанционного мониторинга почвенно-климатических условий, а также новые методы и инструменты оценки агроэкологического состояния почв, оснащенные отечественной навигационной аппаратурой систем ГЛОНАСС/GPS. Крайне важным является создание научно-технической платформы, обеспечивающей построение и реализацию интеллектуальных систем оптимального планирования технологических решений, а также генерацию производственно-технологического спектра оперативных возможностей и предложений по прецизионному управлению урожайностью с учетом складывающихся в заданном хозяйстве погодных, почвенных и хозяйственно-экономических условий¹.

Оценка текущего состояния и изменений почвенного покрова и свойств почв на региональном уровне представляется весьма важной проблемой и имеет большое научное и прикладное значение, поскольку почвы обширных территорий интенсивного сельскохозяйственного использования Юга России, в частности Крымского полуострова, подвержены деградационным процессам. Отсутствие необходимых методик и методов оценки, адекватных современным требованиям по точности и оперативности, сдерживает решение этого вопроса.

Традиционно применяемые методы наземных почвенных обследований, даже в масштабах административного района, не говоря уже о региональных, требуют чрезвычайно больших материальных затрат из-за высокой трудоемкости и длительности процесса сбора необходимого объема данных о состоянии такой специфической, неоднородной в пространстве и изменчивой во времени системы,

¹ Якушев В. В. Точное земледелие: теория и практика. СПб.: АФИ, 2016. 364 с

какой являются почвы. Отсюда вытекают трудности корректного проведения пространственно-временной экстраполяции данных наземных исследований и измерений, от которых зависит степень надежности результирующих оценок состояния почв мониторингового региона. Их преодоление стало возможным с развитием методов и средств оперативного наблюдения за состоянием геосистем на больших территориях, применяемых в дистанционном зондировании (ДЗ) Земли из космоса и беспилотных летательных аппаратов.

В конце 70-х годов наступил новый этап совершенствования средств ДЗ, когда вместе со ставшими уже традиционными фотографическими спутниковыми системами, поставляющими информацию качественного уровня, начали широко применяться многоспектральные оптико-электронные и микроволновые бортовые аэрокосмические системы, осуществляющие зондирование земной поверхности в широком спектральном диапазоне, оперативно передающие на Землю цифровую информацию ДЗ. Это позволило перейти от качественного к количественному режиму дистанционного определения параметров состояния зондируемых объектов. Однако, эти перспективные методы ДЗ не были подкреплены необходимым научно-методическим обоснованием с предметной, географической и почвоведческой точек зрения, что в значительной мере снижало их ценность. При этом необходимо отметить, что методология оценки состояния и изменений почвенного покрова является междисциплинарной и базируется на методах почвоведения, прикладной физики, географии, оптики, информационных технологий и других смежных наук.

В настоящее время спутниковые технологии наблюдения позволяют получать объективную количественную информацию о различных объектах и явлениях. Это, в частности, позволяет создавать новые информационные технологии и системы для наблюдения и изучения различных процессов, происходящих в биogeоценозах и агроценозах. В то же время следует отметить, что изучение различных видов агроценозов имеет свою специфику, которая требует создания специализированных информационных систем, позволяющих обеспечивать получение и анализ однородной по времени и пространству информации. Особенно это важно в том случае, когда речь идет об изучении виноградных агроценозов, поскольку их важнейшими элементами являются многолетние растения и почвы, обеспечивающие получение урожая. В этом случае необходимо создавать специальные информационные технологии наблюдения таких объектов. Это позволит в перспективе формировать однородные по времени и пространству ряды наблюдений и обеспечивать

возможность проведения анализа, обладающего высокой степенью достоверности. При этом должны быть определены различные характеристики исследуемых объектов, которые могут быть восстановлены на основе данных дистанционных наблюдений и быть использованы для оценки их состояния и прогнозов развития. Указанные задачи могут быть эффективно решены только в привязке к определенным типам объектов исследования.

Разработка методов дистанционного зондирования для оценки состояния геосистем и, в частности, их почвенного компонента - главное направление исследований авторов. Актуальность этих исследований определяется необходимостью получения оперативной и достоверной информации о состоянии геосистем, необходимостью постоянного слежения за развитием деградационных процессов на землях, подверженных антропогенному воздействию. Эта проблема может быть решена только средствами ДЗ, на основе совершенствования и разработки новых методов анализа дистанционных данных в комплексе с данными наземных наблюдений и измерений.

Научная концепция исследования базируется на современном представлении о почвах и почвенном покрове как открытых неравновесных системах, участвующих в постоянном процессе обмена веществом и энергией с компонентами биосферы и характеризующихся свойствами структурной устойчивости, гомеостаза и адаптируемости². С кибернетической точки зрения³, указанные обменные процессы могут рассматриваться как эквивалентные потоки информации в системе с обратной связью, находящейся под воздействием внутренних и внешних факторов. Они и являются предметом исследований, проводимых авторами.

Поэтому такие системы должны обладать свойствами наблюдаемости и управляемости. Наблюдаемость системы означает возможность ее корректной параметризации и оценки ведущих показателей состояния (например, для почв – гумусированность, засоленность, минералогический, гранулометрический состав, кислотность, влажность, температура и др.) с помощью средств и систем измерения, как контактных, так и дистанционных.

Дистанционная диагностика базируется на фундаментальном свойстве почв – отражать падающую солнечную радиацию, излучать либо отражать электромагнитные волны, параметры которых связаны с гумусированностью, гранулометрическим, минералогическим и химическим составом, влажностью

² Шейн Е.В. Курс физики почв: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с.

³ Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск, Наука, 1978, 319 с.

и т.д. Это позволяет определять основные показатели состояния почв средствами ДЗ. Концептуальной особенностью исследования является синтез дистанционной информации максимально широкого диапазона длин волн, поставляемого современными системами ДЗ с наземными, картографическими и другими сведениями.

Цель исследования состоит в проведении теоретических и экспериментальных исследований в области мониторинга состояния почв с применением методов дистанционного зондирования, пространственно-структурного моделирования территорий.

Исследования, составляющие суть работы авторов, направлены на решение фундаментальной научной проблемы – создание современной методологии диагностики свойств почв и почвенного покрова на основе методов дистанционного зондирования с космических носителей и беспилотных летательных аппаратов в сочетании с данными наземных исследований.

Методология дистанционной диагностики свойств почв вытекает из развития существующих и разработки гибкой системой новых методов анализа и содержательной интерпретации дистанционной информации, получаемой в возможно более широком диапазоне электромагнитного спектра и условий съемки. Методы анализа базируются на математических моделях связи данных ДЗ с параметрами состояния почв, на синтезе наземной, картографической, дистанционной информации, пространственно-структурном моделировании и картографировали реального состояния почв и почвенного покрова.

Для достижения цели исследования решаются следующие задачи:

1. Планирование измерительного эксперимента и проведение дистанционных и наземных измерений отражательных и излучательных характеристик почв при максимальном числе контролируемых условий съемки.

2. Определение параметров структуры почвенного покрова Крымского полуострова на базе анализа многоспектральной космической информации, математического моделирования функции связи оптических, структурных и спектральных характеристик почвенно-растительных комплексов.

3. Количественная оценка важнейших свойств почв по результатам анализа космической информации, наземных измерений, картографических материалов (гумусность, карбонатность, влажность).

4. Разработка методического подхода к процедуре районирования территории, адекватного потенциалу ДЗ и создание пространственно-структурной модели территории - специальной картографической основы

содержательной интерпретации дистанционных данных для целей почвенной картографии.

Таким образом в результате полного комплекса исследований будет осуществлено решение научной проблемы, имеющей важное научное и практическое значение, предложены научно-обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в цифровизацию процессов управления состоянием почвенного покрова региона.

В основу предлагаемой работы положены результаты комплексных исследований и экспериментов по разработке научно-методических основ применения методов ДЗ при изучении состояния почв и почвенного покрова, проведенных авторами в рамках национальных программ.

Объектами исследований на детальном и региональном уровнях служили территории произрастания культур винограда на Крымском полуострове.

Работа выполняется на стыке наук - географии, почвоведения, дистанционного зондирования, информационных технологий, математических методов анализа, что предполагает необходимость применения системного подхода, математических методов и моделей, в сочетании с традиционными наземными исследованиями. Это дало возможность модифицировать анализ и интерпретацию данных ДЗ и создать качественно новые методические подходы: к оценке состава и площадных параметров комплексного почвенного покрова Крыма; определения гумусированности (как важнейшего фактора плодородия почвы), карбонатности, влажности, эродированности пахотных почв; выявлены возможности и ограничения разных методов и средств ДЗ при решении задач оценки состояния почв и почвенного покрова.

Разработанные технологии базируются на сочетании разных видов и методов обработки и анализа данных ДЗ, синтезе наземной, картографической информации, пространственно-структурном моделировании территорий.

Разработанная методология ДЗ свойств почв предусматривает внедрение гибкой системы методов дистанционной диагностики гумусированности, влажности, засоленности, эродированности почв, основанной на модельном представлении их пространственно-временной динамики и экспертных знаниях. Научно-техническое содержание методик, входящих в эту систему должно меняться в зависимости от зональных и региональных особенностей почв, а также конкретной аппаратуры ДЗ и её носителей (спутники, беспилотные летательные аппараты).

Следует отметить, что сочетание визуальных и инструментальных методов

дешифрирования, синтеза наземной, дистанционной, картографической информации на всех этапах, является важным требованием всех методик дистанционной диагностики почв.

Данная работа является первой из серии монографий авторов, посвященным применению методов ДЗ для диагностики плодородия и состояния почв виноградных агроценозов Крымского полуострова.

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

1.1 Анализ современного состояния исследований

*1.2 Обоснование необходимости дистанционной диагностики
состояния виноградных агроценозов на основе применения
современных цифровых технологий*

*1.3 Оценка свойств почв как основа их дешифрования по данным
дистанционного зондирования*

1.1 Анализ современного состояния исследований

Материалы крупномасштабного обследования показали наличие большого количества видов почв, которым присущи разнообразные физические, химические, физико-химические, биологические и другие характеристики. Эти показатели почвы в границах зональных климатов, производственной деятельности человека определяют их разный уровень плодородия. В этой связи необходимо иметь надежные методы диагностики почв, которые позволят эффективно и рационально использовать почвенный покров и почвы конкретной территории.

Диагностику почв проводят для определения сущности развития почв и их дальнейшей эволюции, а также для определения уровня плодородия почв. Главной задачей мониторинга почв является познание направлений развития почвообразующего процесса, почвенных режимов, которые определяют уровень плодородия почвы, их возможности в сельском хозяйстве. Мониторинг позволяет определить классификационный уровень почв и их разновидности, что позволяет выявить пути рационального и наиболее эффективного использования земли конкретной земельной территории.

Интенсивное использование земель часто ведет к развитию неблагоприятных процессов (водной и ветровой эрозии, вторичного засоления и заболачивания, загрязнения почв промышленными выбросами и пестицидами), что существенно ухудшает свойства почвенного покрова. В связи с этим возникает необходимость слежения за показателями состояния почв с целью его оценки, прогнозирования и картографирования, а также обоснования

мероприятий по повышению почвенного плодородия. Мониторинг почвенного покрова включает систематические наблюдения за уровнем загрязнения почв, процессами миграции химических веществ, динамикой показателей почвенного плодородия в пространстве и во времени. Однако он не может ограничиться лишь анализом проб почв, так как исследование почв неотделимо от изучения других компонентов ландшафта, всех путей накопления загрязняющих веществ как в природных, так и в антропогенных комплексах.

Характеризуя состояние почвенного покрова на территории Крымского полуострова, необходимо отметить, что сельскохозяйственное производство на обширных территориях в последние полвека осуществлялось за счет ирригационных возможностей Северо-Крымского канала, который был перекрыт со стороны Украины в 2014 году и в настоящее время используется только для хозяйственного и питьевого водоснабжения Керченского полуострова из водохранилищ и артезианских водозаборов северо-востока Крымского полуострова. Площадь орошаемого земледелия сократилась в 20 раз, земли подвергаются эрозии, засолению и др. неблагоприятным воздействиям (Республика Крым в цифрах. 2017, 2018). Аналогичные процессы (в более мягкой форме) происходят и в других регионах Юга России и обусловлены снижением годового стока рек Краснодарского и Ставропольского краев, Ростовской области, а также частично республик Северного Кавказа.

Учитывая значительные по площади территории (например, площадь Крымского полуострова составляет 27000 кв. км, орошаемое земледелие развивалось на территории свыше 400 тыс. га) (Республика Крым в цифрах. 2017, 2018) осуществление мониторинга состояния почв и планирование на этой основе мероприятий по сохранению их плодородия невозможно традиционными методами без активного использования методов дистанционного исследования, в первую очередь - методами дистанционного зондирования Земли из космоса, а также современных цифровых технологий, что определено задачами национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»).

Вопросам сохранения и восстановления плодородия агроценозов посвящено значительное количество трудов отечественных и зарубежных ученых и исследователей. Имеются труды, посвященные дистанционному оцениванию состояния почв, ряд исследователей применял результаты дистанционного зондирования Земли из космоса для мониторинга плодородия почв, почвенного

картографирования, а также состояния виноградников. Деграляция земель негативно влияет на продовольственную безопасность населения мира. По оценке некоторых специалистов, в настоящее время доля нарушенных земель составляет около 29% земельных ресурсов нашей планеты, пригодных для сельскохозяйственного использования.

Высокая эколого-хозяйственная значимость почв диктует необходимость создания оптимальных механизмов регулирования интенсивности их использования. Одной из первостепенных задач, стоящих перед почвоведцами страны, является создание общероссийской почвенно-географической базы данных, которая послужит государственным инструментом регулирования использования и охраны почвенных ресурсов России. Компьютерная инвентаризация почвенной информации, совмещение ее с имеющимися цифровыми картами, использование современных ГИС-технологий послужит основой формирования мониторинга состояния почв, разработки единой системы контроля, агрометеорологического и экологического моделирования размещения сельскохозяйственных культур на региональном и общенациональном уровнях⁴.

Минимизация обработки важнейшая задача оптимизации системы возделывания сельскохозяйственных культур⁵. В России ее развитие осуществлялось от безотвальной обработки Т.С. Мальцева и почвозащитной системы А.И. Бараева до разработки региональных комбинированных систем различной степени минимизации. В рамках адаптивно-ландшафтных систем земледелия наметился процесс дифференциации их применительно к различным почвенно-ландшафтным условиям⁶. Для дальнейшего развития проблемы требуются системное обобщение и расширение научных исследований по данному направлению. Исследования, проведенные в станах балтийского региона показали, что экономическая стоимость потерь в результате деграляции земли составляет около 9 миллиардов долларов США в год. При этом каждый доллар, вложенный в восстановление деградировавших почвенных экосистем, может принести около 3 долларов социальной выгоды через 6 лет⁷.

⁴ Рожков В.А., Алябина И.О., Колесникова В.М., Молчанов Э.Н., Столбовой В.С., Шоба С.А. Почвенногеографическая база данных России // Почвоведение. 2010. № 1. С. 3–6.

⁵ Glinushkin A.P., Kudayarov V.N., Sokolov M.S., Zinchenko V.E., Chernenko V.V. Nature-Similar Technologies of the Biogeosystem Technique in Solving a Global Social and Environmental Problem // Biogeosystem Technique. Vol. 5(2). 2018. pp. 164-196.

⁶ Кирюшин В.И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований // Земледелие, 2013. – № 7. – С. 3-6.

⁷ Braun Von, J & Mirzabaev, Alisher. Land Use Change and Economics of Land Degradation in the Baltic Region. Baltic Region. 2016, № 8. 33-44. 10.5922/2079-8555-2016-3-3.

По мнению некоторых исследователей, оценка и анализ специфики деградации почвы должны основываться прежде всего на изучении особенности деградации гумуса в различных вариантах возделывания сельскохозяйственных культур. Показано, что через 2-3 года обработки почвы при возделывании кукурузы значительно снижается содержание органического углерода, азотосодержащих соединений, в целом происходит деградация органического почвенного вещества⁸.

Интегральная оценка экологической чувствительности, уровня устойчивости и динамики качественных характеристик почвы имеет важное значение в стратегии планирования и проведения сельскохозяйственных работ, особенно в регионах с высоким уровнем эксплуатации земельных ресурсов. Исследования, проведенные в районе дельты Северного Нила выявили высокий уровень рисков, особенно в южной части региона, тотальной деградации почвы, снижения ее качества и устойчивости в результате интенсивного сельскохозяйственного использования⁹.

Предложен способ нахождения показателя состояния и оценки качества почвы, испытывающей антропогенную нагрузку. Выведено уравнение функции состояния в общем виде; предложен способ нахождения параметров этого уравнения на основе интерпретации экспериментальных зависимостей «доза-эффект». Введена шкала экологической оценки качества почвы¹⁰. На основе изучения разновозрастных почв в различных физико-географических районах Крымского полуострова выявлены основные закономерности почвообразования на протяжении позднего голоцена (в последние 2800 лет). Основные типы почв на территории Крымского полуострова по средней скорости формирования гумусового горизонта можно расположить в следующий убывающий ряд: черноземы южные и темно-каштановые почвы; бурые горнолесные почвы; коричневые щелочистые почвы. На протяжении позднего голоцена в новообразованных почвах процесс гумусонакопления опережал процесс увеличения мощности гумусового горизонта. Период резкого уменьшения скоростей процессов формирования почвенного профиля и гумусообразования наблюдается при возрасте почв 1100-1200 лет. Установлены возможности оценки

⁸ Drosos M., Piccolo A. The molecular dynamics of soil humus as a function of tillage // Land Degradation & amp; Development. 2018. Volume 29, Issue 6. Pages 1792-1805.

⁹ Elbasiouny H. Assessment of Environmental Sensitivity to Desertification, Soil Quality and Sustainability in An Area of The North Nile Delta, Egypt // J. Soil. Sci. 2018. Vol. 58, No. 4, pp. 399-415.

¹⁰ Яковлев А. С., Гендугов В. М., Глазунов Г. П., Евдокимова М. В., Шулакова Е. А. Методика экологической оценки состояния почвы и нормирование ее качества // Почвоведение. 2009, № 8, с. 984-995.

влияния климата на почвообразовательный процесс по метеорологическим данным инструментального периода¹¹.

На плотных карбонатных и сланцевых породах Крыма из-за плохого промачивания верхнего слоя монолитной породы, нулевого стартового плодородия необходим некий промежуток времени для создания под действием физического и химического выветривания слоя выветренных пород (в нашем случае это 10-12 см), в котором будет накапливаться вода, что будет стимулировать химическое выветривание. Это приведет к высвобождению из кристаллической решетки питательных веществ, что характерно для более или менее благоприятной среды для развития микроорганизмов и растений. Лишь при наличии такого слоя будут присутствовать возможности реализации биогенного цикла почвообразования, и скорость почвообразования будет максимальной¹².

Рассмотрены методологические аспекты и практические результаты оценки энергетики гумуса и термодинамических свойств разновозрастных почв Крымского полуострова, которые можно использовать как показатели потенциальной способности горных пород к почвообразованию и самовосстановлению нарушенных почв при разработке стратегий рекультивации земель. Определены значения энергетики гумуса почв, формирующихся на различных почвообразующих породах¹³. Возможность оценки состояния почвенного покрова дистанционными методами обусловлена зависимостью цвета почв или их отражательной способности от важнейших почвенных характеристик – влажности, содержания и свойства гумуса, гранулометрического состава, содержания карбонатов и свободного (несиликатного) железа. В настоящее время определенное развитие получила система косвенных оценок состояния почв на основе данных дистанционного зондирования Земли, что может быть использовано в математическом моделировании почвенных процессов^{14 15}. Особенности развития почвы может быть смоделировано с помощью имитационных моделей почва-вода-атмосфера-растение (SWAP), которые

¹¹ Лисецкий Ф.Н., Ергина Е.И. Развитие почв Крымского полуострова в позднем голоцене // Почвоведение. 2010. № 6. С. 643–657.

¹² Ергина Е.И., Черный С.Г. Количественные аспекты моделирования процесса почвообразования почв Крыма // Уч. зап. Таврического национального ун-та им. В.И. Вернадского. 2011. Т. 24(63). № 2. Ч. 3. Сер. география. С. 67–72.

¹³ Ергина Е.И. Динамика термодинамических свойств и запасов энергии в гумусе почв Крымского полуострова // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2012. Т. 8. Вып. 1–2. С. 62–72.

¹⁴ Шейн Е. В., Рыжова И. М. Математическое моделирование в почвоведении. Учебник. М.: «ИП Маракушев А. Б.», 2016. – 377 с.

¹⁵ Михайленко И. М., Тимошин В. Н. Управление химическим состоянием почв на основе данных дистанционного зондирования Земли // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 1(13). С. 63–74.

используются в компьютерной программе моделирования потенциальных урожаев в различных регионах планеты. При этом в качестве базовых элементов используются показатели радиационного и температурного режима, стандартизированные характеристики сельскохозяйственных культур в условиях достаточного запаса воды и питательных веществ и отсутствия вредителей и болезней. На шести типах почвы в трех вариантах ее деградации с учетом прогнозируемого изменения климата до 2100 г. итальянскими исследователями смоделирована динамика качественных характеристик почвы, показано значительное их снижение¹⁶.

Существует высокая потребность получения данных дистанционного зондирования для оперативного управления почвой и урожайностью сельскохозяйственных культур¹⁷. Пространственное разрешение и временная частота изображений дистанционного зондирования существенно повысились. Это позволяет оценивать почвенные показатели и характеристики растений в высоком пространственном разрешении за счет увеличения объема данных и повышения требований к их обработке. Временная частота изображений дистанционного зондирования также значительно повысилась. В последние десятилетия спутниковые методы и технологии все более широко применяются в решении задачах получения объективной информации об использовании и состоянии сельскохозяйственных земель. Для этих целей активно разрабатываются и внедряются специализированные информационные системы различного уровня. Однако применение дистанционных методов и геоинформационных технологий в изучении агроландшафтов с точки зрения системного подхода, как в отечественных, так и в зарубежных научных исследованиях, в недостаточной степени развито и требует дальнейшего изучения возможностей их эффективного использования^{18 19 20}. Использование космических средств наблюдения Земли является одним из наиболее эффективных и действенных методов получения информации о состоянии

¹⁶ Bonfante, A., Terribile, F., and Bouma, J.: Refining physical aspects of soil quality and soil health when exploring the effects of soil degradation and climate change on biomass production: an Italian case study, SOIL, 5, 1-14, <https://doi.org/10.5194/soil-5-1-2019>, 2019.

¹⁷ Блохина С. Ю. Применение дистанционного зондирования в точном земледелии // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 5.

¹⁸ Козубенко И. С., Савин И. Ю. Спутниковые данные в управление агропромышленным комплексом региона // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 5. С. 9–11.

¹⁹ Кулик К. Н., Кошелев А. В. Методическая основа агролесомелиоративной оценки защитных лесных насаждений по данным дистанционного мониторинга // Лесотехнический журнал. 2017. № 3. С. 107–114.

²⁰ Chervan' A. The assessment of resource potential of agro-landscapes with use of geo-information systems on the basis of soil cover structure // The Proceedings of the 10th International Soil Science Congress on "Environment and Soil Resources Conservation". 2018. p. 19.

сельскохозяйственных систем, что подтверждается многолетними успешными работами научно-исследовательских коллективов в области развития и внедрения методов мониторинга и оценки состояния растительных объектов по данным спутниковых космических наблюдений. Следствием этого стал значительный прогресс в развитии методов и технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), играющих значительную роль в информационном обеспечении решения как фундаментальных, так и прикладных задач.

Наиболее значимый прогресс в области развития и применения систем ДЗЗ произошел за последнее десятилетие. Именно в этот период появились и стали активно использоваться системы нового поколения, позволяющие получать не только качественную, но и количественную информацию. Появление таких систем открыло новую эру спутникового дистанционного зондирования и позволило начать создание принципиально новых, высоко автоматизированных технологий работы с данными ДЗЗ, обеспечивающих организацию эффективной работы с огромными массивами данных. Развитие технологий Big Data и Data Science, появление сверхпроизводительных вычислительных систем позволяют непрерывно получать, анализировать и использовать информацию по любому региону нашей планеты. Это, в частности, позволяет анализировать временную, в том числе и долговременную, динамику различных явлений и процессов. В это же время, в начале 2000-х годов активно развивались различные национальные и международные программы, ориентированные на создание космических аппаратов ДЗЗ, что привело к значительному увеличению, как числа космических систем, так и потенциальных возможностей. Например, в период с 1999 по 2009 годы число КА с многоцелевыми сканерами видимого и ИК диапазонов для исследования суши возросло в 1,5 раза²¹. В настоящее время на орбите функционирует 78 КА с аппаратурой, ориентированной на исследования характеристик растительного покрова в оптическом диапазоне²². Значительный рост численности КА ДЗЗ по данным CEOS (Committee on Earth Observation Satellites) продолжится и в ближайшие десятилетия. Доступность спутниковой информации в последнее десятилетие (в том числе возможность получения ее по низкой стоимости или бесплатно) существенно расширила возможности ее использования в научных исследованиях и стала одним из наиболее значимых факторов, повлиявших на развитие систем ДЗЗ в

²¹ Assefa M. Melesse, Qihao Weng, Prasad S. Thenkabail, and Gabriel B. Senay. Remote Sensing Sensors and Applications in Environmental Resources Mapping and Modelling // Sensors 2007. 7(12). P. 3209-3241.

²² The CEOS database, 2019. <http://database.eohandbook.com/timeline/timeline.aspx> (дата обращения: 03.09.2019).

последнее десятилетие. Именно доступность информации привела к практически взрывному росту разработок в области использования возможностей спутниковых систем дистанционного наблюдения Земли. Таким образом, в настоящее время появился общедоступный измерительный инструмент, обладающий такими уникальными свойствами (глобальностью зоны наблюдений, объективностью получаемой информации, высокой повторяемостью, воспроизводимостью, наличием архивов долговременных непрерывных наблюдений).

Это привело к тому, что в последние годы достаточно быстро развивались методы и технологии, позволяющие получать на основе спутниковой информации объективные данные о состоянии растительного покрова. Особо следует отметить, что в России в данной области ведутся активные разработки, которые не только не уступают зарубежным аналогам, но и в вопросах, связанных с созданием методов автоматизированной обработки данных и систем распределенной работы со спутниковой информацией и результатами ее обработки, превосходят зарубежные аналоги. В институтах Российской академии наук и Московском государственном университете в последнее десятилетие созданы уникальные методы, алгоритмы и технологии работы со спутниковыми данными, позволившие решить значительное число научных задач, а также создать прикладные системы дистанционного мониторинга^{23 24}.

Отметим, что на протяжении практической всей истории развития спутниковых систем наблюдения Земли активно велись работы по созданию методов дистанционной оценки состояния растительности, в том числе сельскохозяйственной. Создавались и в настоящее время активно развиваются методы с дистанционным контролем сельскохозяйственных земель и посевов. Ведутся работы, ориентированные на использование дистанционной информации для оценки урожайности посевов и различных культур, а также продуктивности земель. С деталями и направлениями таких работ можно, в частности

²³ Лупян Е.А., Саворский В.П., Шокин Ю.И., Алексанин А.И., Назиров Р.Р., Недолужко И.В., Панова О.Ю. Современные подходы и технологии организации работы с данными дистанционного зондирования Земли для решения научных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т.9. № 5. С.21-44.

²⁴ Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В., Крашенинникова Ю.С. Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 1. С.26-43.

познакомиться, например, в работах^{25 26 27 28 29 30 31 32 33 34}. Следует отметить, что значительное число работ в последние годы было посвящено изучению особенностей анализа различных типов растительности с использованием данных ДЗЗ, полученных в различных спектральных диапазонах.

Так, например, в 1998-2008 гг. сотрудниками Института агроэкологии НААН Украины (А.Г.Тарарико, О.В.Сиротенко, В.О. Греков, М.И.Кобец, М.Т.Микитенко, Т.М. Курач, В.Г.Швайко, Н.А.Минкевич, С.Г.Мудрик, О.М.Фролова, О.П.Шевченко) была сформирована база данных типичных фоновых оптических характеристик индикаторов растительного и почвенного покрова, водных объектов и водно-болотных угодий, определена взаимосвязь изменчивости оптических характеристик от изменения разных факторов влияния, обоснована возможность использования оптических характеристик индикаторов при оценке экологического состояния агроландшафтов. Безусловно, следует отметить, что работы по анализу состояния сельскохозяйственных культур с использованием данных дистанционного зондирования проводятся свыше 30 лет, начиная с классических работ³⁵ и продолжая более современными работами^{36 37} и др. При этом, особое внимание уделяется использованию вегетационных

²⁵ Ross J. The radiation regime and Architecture of Plant Stands. // 1981, Boston: W. Junk.

Ross J., Marshak A.L. Calculation of canopy bidirectional reflectance using the Monte-Carlo method. // Remote Sensing of Environment? Vol.24, 1988 – pp.213-225.

²⁶ Knyazikhin Y.V., Marshak A.L. Fundamental equations of radiative transfer in leaf canopies, and iterative methods for their solutions. // Photon-Vegetation Interactions, 1991 – pp. 9-43.

²⁷ Bansal A. K., Murtha P. A., Wiart R. J. An evaluation of landsat thematic mapper data for reforestation monitoring in British Columbia // Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Vol. 19, № 3, 1991 – pp. 163-174.

²⁸ Los S.O., Justice C.O., Tucker C.J. A global 1 x 1 degree NDVI dataset for climate studies derived from the GIMMS continental NDVI data. // International Journal of Remote Sensing, 1994, №15 – pp. 3493-3518.

²⁹ Oguro Y., Suga Y., Takeuchi S., Ogawa H., Tsuchiya K. Monitoring of a rice field using Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM+ data. // Advances in Space Research, Vol. 32, №11, 2003 – pp. 2223-2228.

³⁰ Bartalev S.A., Belward A.S., Erchov D.V., Isaev A.S. A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia. // International Journal of Remote Sensing, Vol. 24, No. 9, 2003 – pp. 1977-1982.

³¹ Dunham S., Fonstad M., Anderson S., Czajkowski K. Using multi-temporal satellite imagery to monitor the response of vegetation to drought in the Great Lakes region. // GIScience & Remote Sensing, 42, №3, 2005 – p.185-201.

³² Bartholome E., Belward A. S. GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth Observation data. // International Journal of Remote Sensing, 26(9), 2005 – pp. 1959-1977.

³³ Chen S., Rao P. Land degradation monitoring using multi-temporal Landsat TM/ETM data in a transition zone between grassland and cropland of northeast China. // International Journal of Remote Sensing, Vol.29, №7, 2008 – pp. 2055-2073.

³⁴ Сидько А.Ф., Пугачева И.Ю., Шевырногов А.П. Исследование динамики спектральной яркости посевов сельскохозяйственных культур в период вегетации на территории Красноярского края. // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, 2009. – №2 – С. 100-110.

³⁵ Idso S.B., Jackson R.D., Pinter Jr. P.J., Moran M.S., Reginato R.J. and Hartfield J.L. Normalising the stress-degree-day parameter for environmental variability. // Agricultural Meteorology, 1981. – 24. – P.45-55.

³⁶ Roerink G.J.; Su Z.; Menenti M. S-SEBI: a simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance. // Phys. Chem. Earth (B), 2000. – 25. – P.147-157.

³⁷ Zwart S. J., Bastiaanssen W.G.M. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. // Agricultural Water Management, 2004. – 69. – P.115-133.

индексов как индикаторов состояния растений. Для оценки количества фотосинтетически активной биомассы был разработан нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI)³⁸, который является косвенным показателем влагосодержания растительности³⁹. Особо следует отметить, что значительные усилия исследователями различных стран были потрачены на создание методов картирования растительного покрова, в основе которых лежат различные методы классификации спутниковых данных.

Для решения задач картирования растительного покрова были разработаны различные методы: контролируемой и неконтролируемой классификации - разными исследовательскими группами в течение последних десятилетий. Первые включают в себя методы на основе дерева принятия решений⁴⁰, нечеткой классификации^{41 42}, декомпозиции спектральных смесей⁴³. Варианты методов неконтролируемой классификации включают в себя классификацию с последовательным обобщением⁴⁴ и методы корректировки на этапе пост-обработки⁴⁵. Значительным шагом в развитии алгоритмов классификации земного покрова на большие территории стал алгоритм локально-адаптивной классификации с обучением LAGMA^{46 47}.

Данный алгоритм обеспечивает необходимую степень локализации с помощью разбиения классифицируемой территории на относительно небольшие фрагменты. Для каждого фрагмента на первом этапе происходит формирование

³⁸ Rouse J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. / In S. C. Freden, E. P. Mercanti, & M. Becker (Eds.), Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Technical presentations, section A, vol. I. Washington, DC: NASA SP-351, 1973. – P.309–317.

³⁹ Stoney, W. A Guide to the Global Explosion of Land-Imaging Satellites; Markets and Opportunities. 2005. Tucker C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. // Remote Sensing of Environment, 1979. – 8. – P.127– 150.

⁴⁰ Hansen M., Dubayah R., Defries R. Classification trees: an alternative to traditional land cover classifiers. // International Journal of Remote Sensing, vol.17, 1996 – pp.1075-1081.

⁴¹ Foody G.M. Approaches for the production and evaluation of fuzzy land cover classifications from remotely-sensed data. // International Journal of Remote Sensing, vol.17, 1996 – pp.1317-1340.

⁴² Foody G.M. Sharpening fuzzy classification output to refine the representation of sub-pixel land cover distribution. // International Journal of Remote Sensing, vol.19, 1998 – pp.2593-2599.

⁴³ Van der Meer F. Spectral unmixing of Landsat Thematic Mapper data. // International Journal of Remote Sensing, vol.16, 1995 – pp.3189-3194.

⁴⁴ Cihlar J., Xiao Q., Beaubien J., Fung K., Latifovic R. Classification by progressive generalization: a new automated methodology for remote-sensing multi-channel data. // International Journal of Remote Sensing, vol.19, 1998 – pp.2685-2704.

⁴⁵ Lark R.M. A reappraisal of unsupervised classification, I: correspondence between spectral and conceptual classes. // International Journal of Remote Sensing, vol.16, 1995 – pp.1425-1423.

⁴⁶ Уваров И.А., Баргалева С.А. Алгоритм и программный комплекс распознавания типов земного покрова на основе локально-адаптивной обучаемой классификации спутниковых изображений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т.7. № 1. С.353-365.

⁴⁷ Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Khvostikov S.A. A new locally-adaptive classification method LAGMA for large-scale land cover mapping using remote-sensing data // Remote Sensing Letters, 2014. 5(1). P.55-64.

пространственного распределения статистической информации (сигнатур) на основе обучающей выборки для всей рассматриваемой территории. Пространственное распределение сигнатур описывается их значениями в узлах регулярной прямоугольной сети с фиксированным шагом. Обучение классификатора направлено на расчёт в узлах локализованных сигнатур вектора средних значений и матрицы ковариаций признаков каждого класса для каждого узла на основе расположенных в границах соответствующей клетки эталонных пикселей.

Поскольку распознаваемые классы, как правило, распределены неравномерно, некоторые узлы могут быть не обеспечены достаточным количеством обучающей информации. В связи с этим на втором этапе алгоритм предусматривает использование сигнатур соседних клеток для накопления необходимой информации до порога репрезентативности. Расширение окрестности осуществляется дискретно, путём последовательного включения клеток, находящихся на равном расстоянии от текущей и увеличения общего количества обучающих пикселей. Методом предусмотрено задание параметров, ограничивающих сверху и снизу число используемых соседних клеток, а также параметра порога репрезентативности класса. Если же на втором этапе порог репрезентативности для текущего класса не достигнут, его сигнатура в данной клетке аннулируется. Классификация происходит на основе вычисленных значений векторов средних и матрицы ковариаций для каждой клетки независимо методом максимального правдоподобия, при этом наряду с обучающей выборкой используются также данные об априорной вероятности встречаемости классов.

С точки зрения работ в этой области, близких к тематике проекта, особо следует отметить работы, посвященные картированию виноградников с мелкотоварным производством винограда при использовании изображений, полученных со спутника Landsat TM. Например, такая методика, предназначенная для эффективного использования данных дистанционного зондирования для контроля на муниципальном уровне площадей, занятых виноградниками, была представлена в работе⁴⁸.

Высокая стоимость многолетних культур виноградников, которые являются крупными водопотребителями, приводит к необходимости создания лучших инструментов для повышения эффективности использования воды,

⁴⁸ Rodriguez J.R., Miranda D., Alvarez C.J. Application of Satellite Images to Locate and Inventory Vineyards in the Designation of Origin "Bierzo" in Spain // Transactions of the ASABE / Amer. soc. of agriculture and biol. engineering.-St. Joseph (Mich.), 2006.-Vol. 49, N 1.-P. 277-290.

чтобы оставаться экономически жизнеспособным и устойчивым в периоды длительной засухи. Чтобы разработать эти инструменты, правительственные, университетские и отраслевые партнеры в Калифорнии проводят разработку многомасштабной системы моделирования на основе дистанционного зондирования для применения на виноградниках⁴⁹. Проблема засухи характерна и для виноградных агроценозов Крыма и особенно обострилась после перекрытия Северо-Крымского канала в 2014 г. Проблеме спутникового и проксимального зондирования для оценки урожайности и качества столового винограда посвящена работа⁵⁰, в которой индекс GNDVI был рассчитаны с использованием спутниковых изображений (Landsat 8) и проксимального зондирования (Crop Circle ACS 470) для оценки урожайности и качественных характеристик столового винограда. Применение дистанционного зондирования для анализа терруара в виноградарстве рассмотрено в работе⁵¹, в которой рассмотрены методы объектного анализа изображений, пространственно-временного анализа, гиперспектрального анализа и топоклиматологии. В работе⁵² предложен подход на основе интеграцию стандартного анализа терруара с имитационным моделированием водного баланса почва-растение-атмосфера и баз данных ГИС для улучшения пространственного анализа терруаров.

Инфракрасная радиометрия как инструмент раннего обнаружения дефицита воды рассмотрена в работе⁵³. Практическое применение мультисенсорной БЛА платформы на основе мультиспектральных, тепловых и RGB сенсоров с высоким разрешением рассмотрено в приложении к виноградарству в работе⁵⁴. Точные наземные измерения индекса листовой поверхности (LAI), используемом в моделях для оценки использования растениями воды, стресса, ассимиляции углерода и других процессов на

⁴⁹ Kustas W.P., Anderson M.C., Alfieri J.G. The grape remote sensing atmospheric profile and evapotranspiration experiment // Bulletin of the American meteorological society, V. 99, Iss. 9, Sep 2018, PP. 1791-1812.

⁵⁰ Anastasiou E., Balafoutis A., Darra N. Satellite and Proximal Sensing to Estimate the Yield and Quality of Table Grapes // Agriculture-Basel, V. 8, Iss 7, paper # 94, Jul 2018.

⁵¹ Hall A. Remote Sensing Application for Viticultural Terroir Analysis // Elements, V. 14, Iss. 3, PP. 185-190, Jun 2018, DOI: 10.2138/gselements.14.3.185

⁵² Bonfante A., Basile A., Langella G., Terribile F. A physically oriented approach to analysis and mapping of terroirs // Geoderma, V. 167-68, PP. 103-117, Nov 2011. DOI: 10.1016/j.geoderma.2011.08.004

⁵³ Rinza J., Ramirez D.A., Garcia J. Infrared Radiometry as a Tool for Early Water Deficit Detection: Insights into Its Use for Establishing Irrigation Calendars for Potatoes Under Humid Conditions // Potato Research, V. 62, Iss. 2, PP. 109-122, Jun 2019. DOI: 10.1007/s11540-018-9400-5

⁵⁴ Matese A., Di Gennaro S.F. // Agriculture-BASEL, V. 8, Iss. 7, paper # 116, Jul 2018. DOI: 10.3390/agriculture8070116

поверхности земли рассмотрены в работе⁵⁵, где проанализированы несколько методов не прямой оценки LAI с помощью анализатора растительного покрова (PCA, LAI-2200C, LI-COR, Lincoln, NE, USA).

Многовременный мониторинг виноградников с помощью RGB-изображений на основе БПЛА рассмотрен авторами работы⁵⁶. В работе⁵⁷ показано, что спектральные индексы растительности (VI) являются хорошими показателями водного потенциала (стебля) виноградной лозы, помогая принимать решения по ирригации для коммерческих виноградников. Авторы работы⁵⁸ показали, что в карстовых ландшафтах каменистые почвы имеют небольшую влагоемкость; рациональное использование воды для орошения поэтому играет важную роль в управлении.

Поскольку водоудерживающая способность неоднородна, подходы точного земледелия позволят принимать лучшие управленческие решения. Исследование показывает применимость гиперспектральной визуализации для оценки стресса от засухи в виноградных лозах, хотя для раннего выявления должна быть принята во внимание временная изменчивость.

Как показал анализ литературных источников, в публикациях отсутствуют комплексные исследования, направленные как на выявление и обоснование значимых факторов (показателей), оказывающих влияние на плодородие виноградных агроценозов, так и разработку методов их оценки на основе данных дистанционного зондирования Земли из космоса, построение комплексных моделей развития таких агроценозов и разработку мероприятий по улучшению или сохранению почв в условиях, аналогичных имеющимся на Крымском полуострове.

⁵⁵ White W.A., Alsina M.M., Nieto H. Determining a robust indirect measurement of leaf area index in California vineyards for validating remote sensing-based retrievals // *Irrigation Science*, V. 37, Iss. 3, PP. 269-280, May 2019. DOI: 10.1007/s00271-018-0614-8

⁵⁶ Padua L., Marques P., Hruska J., Adao T. Multi-Temporal Vineyard Monitoring through UAV-Based RGB Imagery // *Remote Sensing*, V. 10, Iss. 12, paper # 1907, Dec 2018. DOI: 10.3390/rs10121907

⁵⁷ Helman D., Bahat I., Netzer Y., Ben-Gal A. Using Time Series of High-Resolution Planet Satellite Images to Monitor Grapevine Stem Water Potential in Commercial Vineyards // *Remote Sensing*, V. 10, Iss. 10, paper # 1615, Oct 2018. DOI: 10.3390/rs10101615.

⁵⁸ Zovko M., Zibrat U., Knapic M. Hyperspectral remote sensing of grapevine drought stress // *Precision Agriculture*, V. 20, Iss. 2, PP. 335-347, Apr 2019. DOI: 10.1007/s11119-019-09640-2.

1.2 Обоснование необходимости дистанционной диагностики состояния виноградных агроценозов на основе применения современных цифровых технологий

В современных условиях хозяйствования экономически выгодное землепользование возможно на основе тщательного и объективного количественного и качественного учета почвенных ресурсов. На территории любого региона всегда представлено большое разнообразие почв, что связано с условиями почвообразования.

С точки зрения практического использования почв, важным является вопрос об их плодородии, способность выращивания сельскохозяйственных культур и потребность в проведении определенных мероприятий по повышению плодородия.

Данные мониторинга позволяют определить содержание полезных веществ в почве и выделить зоны недостаточного обеспечения почв необходимыми для сельскохозяйственных культур элементами питания. Вместе с тем, невозможно напрямую по окраске почвы или ее спектральной яркости определить содержание в почве питательных веществ и микроэлементов, поскольку они содержатся в почве в таком состоянии и количестве, которые не достаточно влияют на окрашивание почвы.

Возможно сделать вывод о пространственной неоднородности содержания питательных веществ в почве, на основании опосредованных связей между обеспечением почвы элементами питания и содержанием хлорофилла в растениях (что широко используется в первую очередь для оценки обеспечения азотом), или между содержанием гумуса в почве и ее плодородием.

В большинстве случаев темный окрас почвы обусловлен содержанием в ней гумуса, который является специфическим органическим веществом, создаваемым в почве, без которой он просто не может существовать. Как говорят специалисты, гумус является инвариантом почвы. Поэтому плодородие почвы характеризуется именно по содержанию в ней гумуса. От содержания гумуса в значительной степени зависит и обеспеченность почвы полезными веществами, и физические параметры пахотного слоя, которые создают комфортные условия для жизни растений.

Со своей стороны, количеством гумуса обусловлена воздухо- и водопроницаемость почвы, ее способность удерживать влагу и обеспечивать

оптимальные условия роста и развития растений. Гумус, являясь биологически активным веществом, обеспечивает функционирование микробиоценоза почвы, а в качестве сорбента – обеспечивает устойчивость почвы к химическим загрязнениям.

Поэтому количественная оценка содержания гумуса в почве является одним из важнейших критериев при картографировании почв, оценке их качества и мониторинга процессов деградации почв. При этом традиционные полевые методы исследования требуют значительных объемов ручного труда по отбору, подготовке и анализу образцов почвы. Кроме того, карты содержания гумуса, построенные на основе дискретных данных точечных наблюдений всегда имеют большие отклонения интерполяции.

А использование данных дистанционного зондирования дает возможность более быстрого и пространственно корректного получения информации о содержании гумуса в верхнем слое почвы для значительных территорий. При этом снижается трудоемкость и стоимость работ. Общее правило дистанционного мониторинга содержания гумуса по данным видимого диапазона состоит в том, что, чем светлее почва – тем меньше в ней гумуса.

Что же касается космических снимков, то по ним можно определять не только содержание гумуса, но и гранулометрическое содержание, наличие солончаков, осолоделых почв, влажность и т.п. Однако именно технология определения содержания гумуса является наиболее проработанной, неоднократно проверенной на достоверность ее результатов, что подтверждено многочисленными исследованиями.

Естественно возникает вопрос, а какие же из дистанционных методов мониторинга почв являются пригодными для картографирования почв, чем они могут быть полезны. Здесь, конечно, стоит обратить внимание на то, что разные дистанционные методы являются неравнозначными, когда речь идет об их использовании для картографирования почв.

К примеру, использование таких методик как аэросъемка и многоспектральное сканирование, уже хорошо себя показали. Кроме того, имеется богатый практический опыт их использования для картографирования почв. А вот такие методы, как радиолокация, георадарная (тепловая) съемка пока что рассматриваются как возможные для картографирования почв.

Отдельно нужно сказать о наиболее важных характеристиках, по которым определяется пространственная неоднородность почвенного покрытия. Речь идет о гранулометрическом составе почв и содержанию в них гумуса. Дело в том, что

зная два этих показателя и имея характеристику рельефа, а также гидротермические условия той или иной территории, опытный специалист может с высокой долей достоверности прогнозировать почвенное покрытие путем составления прогнозных почвенных карт.

В настоящее время отработаны методики дистанционного определения содержания гумуса в почве по данным мультиспектральной съемки и фотосъемки. И здесь нужно обратить внимание, что данный процесс (определение содержания гумуса в почве) осуществляется по эмпирическим зависимостям, которые являются специфичными для каждого типа почвы. Поэтому важно, что данные разработки были привязаны к конкретной изучаемой территории.

Изучение гранулометрического содержания почв также возможно по этим данным, но опосредованно (косвенно) поскольку имеет место изменение спектральной яркости вследствие снижения содержания гумуса в более легких почвах. Дело в том, что гранулометрическое содержание почв влияет на отражение радиоволн, что позволяет определять состав по данным радиолокации.

Следует отметить, что фотосъемка и мультиспектральная съемка имеют достаточно широкое применение в почвенной картографии. Так, по данным этих съемок почву можно дифференцировать как по прямым, так и по косвенным признакам. Для количественной оценки отдельных свойств почвы (содержание гумуса, некоторых химических веществ) используются эмпирические зависимости между данными параметрами и яркостью снимков в отдельных диапазонах волн. Также можно использовать значения, полученные путем расчета индексов яркости. Важным для определения границ почв и их диагностики считается такая качественная составляющая, как рисунок снимка, на котором можно увидеть много важного и интересного – эрозийные границы, зоны подтопления, резкие изменения почвенной породы, пятна солонцов, участки осолоделых почв и др.

Что касается радиолокации, то ее данные можно использовать для оценки таких параметров почвы, как влажность, плотность строения, гранулометрическое и структурно-агрегатное состояние.

Георадарная съемка, которая только начинает использоваться для потребностей почвенной картографии на нашей территории имеет гораздо больше возможностей. Так, она дает возможность дистанционно оценить глубину слоя гумуса, а также наличие и глубин у подстилания почвообразующих пород, глубину залегания грунтовых вод, их химический состав (минерализацию). И, несмотря на то, что разные почвы отличаются по податливости к георадарным

исследованиям, данный метод нашел широкое применение за рубежом (США), где его считают перспективным для исследования почв.

Говоря о методах дистанционного мониторинга почв, необходимо обратить внимание на ГИС, использование которых связано с тем, что современная почвенная карта, в отличие от ее бумажных предшественников, представляет собой не просто зафиксированное состояние почвенного покрытия, отсканированный снимок. Современные (цифровые) снимки – это динамическое состояние почв, база данных о свойствах почвы, которая визуализирована в виде цифровой почвенной карты. При этом полученная база данных имеет развернутую количественную и качественную информацию о почвенном покрытии, которая может выводиться в понятном и приемлемом для пользователя формате. Такие карты имеют возможность постоянно обновляться под воздействием обновления данных о почвах. Совершенно очевидно, что для создания цифровой карты почв и ее существования необходима ГИС-среда.

Интенсивное использование земель часто ведет к развитию неблагоприятных процессов (водной и ветровой эрозии, вторичного засоления и заболачивания, загрязнения почв промышленными выбросами и пестицидами), что существенно ухудшает свойства почвенного покрова. В связи с этим возникает необходимость слежения за показателями состояния почв с целью его оценки, прогнозирования и картографирования, а также обоснования мероприятий по повышению почвенного плодородия.

Мониторинг почвенного покрова включает систематические наблюдения за уровнем загрязнения почв, процессами миграции химических веществ, динамикой показателей почвенного плодородия в пространстве и во времени. Однако он не может ограничиться лишь анализом проб почв, так как исследование почв неотделимо от изучения других компонентов ландшафта, всех путей накопления загрязняющих веществ как в природных, так и в антропогенных комплексах.

Характеризуя состояние почвенного покрова на территории Крымского полуострова, необходимо отметить, что сельскохозяйственное производство на обширных территориях в последние полвека осуществлялось за счет ирригационных возможностей Северо-Крымского канала, который был перекрыт со стороны Украины в 2014 году и в настоящее время используется только для хозяйственного и питьевого водоснабжения Керченского полуострова из водохранилищ и артезианских водозаборов северо-востока Крымского полуострова. Площадь орошаемого земледелия сократилась в 20 раз, земли

подвергаются эрозии, засолению и др. неблагоприятным воздействиям⁵⁹. Аналогичные процессы (в более мягкой форме) происходят и в других регионах Юга России и обусловлены снижением годового стока рек Краснодарского и Ставропольского краев, Ростовской области, а также частично республик Северного Кавказа.

Учитывая значительные по площади территории Крымского полуострова (27000 кв. км, из которых орошаемое земледелие свыше 400 тыс. га)⁶⁰, осуществление мониторинга состояния почв и планирование на этой основе мероприятий по сохранению их плодородия невозможно традиционными методами без активного использования методов дистанционного исследования, в первую очередь - методами дистанционного зондирования Земли из космоса, а также современных цифровых технологий, что определено задачами национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»⁶¹. При этом должны быть определены различные характеристики исследуемых объектов, которые могут быть восстановлены на основе данных дистанционных наблюдений и быть использованы для оценки их состояния и прогнозов развития.

Вопросам сохранения и восстановления плодородия виноградных агроценозов посвящено значительное количество трудов отечественных и зарубежных ученых и исследователей. Имеются труды, посвященные дистанционному оцениванию состояния почв, ряд исследователей применял результаты дистанционного зондирования Земли из космоса для мониторинга плодородия почв, почвенного картографирования.

Деградация земель негативно влияет на продовольственную безопасность населения мира. По оценке некоторых специалистов, в настоящее время доля нарушенных земель составляет около 29% земельных ресурсов нашей планеты, пригодных для сельскохозяйственного использования⁶². Высокая эколого-хозяйственная значимость почв диктует необходимость создания оптимальных механизмов регулирования интенсивности их использования. Компьютерная инвентаризация почвенной информации, совмещение ее с имеющимися цифровыми картами, использование современных ГИС-технологий послужит

⁵⁹ Республика Крым в цифрах. 2017: Крат. стат. сб./Крымстат- С., 2018 - 176 с.

⁶⁰ Там же

⁶¹ Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» / Утвержден президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. № 16), 2018. - 90 с.

⁶² Le Q. B., Nkonya E., Mirzabaev A. Biomass productivity-based mapping of global land degradation hotspots // Economics of Land Degradation and Improvement — A Global Assessment for Sustainable Development. Springer International Publishing, 2016. P. 55—84.

основой формирования мониторинга состояния почв, разработки единой системы контроля, агрометеорологического и экологического моделирования размещения сельскохозяйственных культур на региональном и общенациональном уровнях⁶³.

Исследования, проведенные в станах балтийского региона, показали, что экономическая стоимость потерь в результате деградации земли составляет около 9 миллиардов долларов США в год. При этом каждый доллар, вложенный в восстановление деградировавших почвенных экосистем, может принести около 3 долларов социальной выгоды через 6 лет⁶⁴. По мнению некоторых исследователей, оценка и анализ специфики деградации почвы должны основываться, прежде всего, на изучении особенности деградации гумуса в различных вариантах возделывания сельскохозяйственных культур. Показано, что через 2-3 года обработки почвы при возделывании кукурузы значительно снижается содержание органического углерода, азотосодержащих соединений, в целом происходит деградация органического почвенного вещества⁶⁵. Интегральная оценка экологической чувствительности, уровня устойчивости и динамики качественных характеристик почвы имеет важное значение в стратегии планирования и проведения сельскохозяйственных работ, особенно в регионах с высоким уровнем эксплуатации земельных ресурсов.

Исследования, проведенные в районе дельты Северного Нила выявили высокий уровень рисков, особенно в южной части региона, тотальной деградации почвы, снижения ее качества и устойчивости в результате интенсивного сельскохозяйственного использования⁶⁶. Предложен способ нахождения показателя состояния и оценки качества почвы, испытывающей антропогенную нагрузку. Выведено уравнение функции состояния в общем виде; предложен способ нахождения параметров этого уравнения на основе интерпретации экспериментальных зависимостей «доза-эффект». Введена шкала экологической оценки качества почвы⁶⁷.

В настоящее время определенное развитие получила система косвенных оценок состояния почв на основе данных дистанционного зондирования Земли,

⁶³ Рожков В.А., Алябина И.О., Колесникова В.М., Молчанов Э.Н., Столбовой В.С., Шоба С.А. Почвенногеографическая база данных России // Почвоведение. 2010. № 1. С. 3–6.

⁶⁴ Braun Von, J & Mirzabaev, Alisher. Land Use Change and Economics of Land Degradation in the Baltic Region. Baltic Region. 2016, № 8. 33-44. 10.5922/2079-8555-2016-3-3.

⁶⁵ Drosos M., Piccolo A. The molecular dynamics of soil humus as a function of tillage // Land Degradation & Development. 2018. Volume 29, Issue 6. Pages 1792-1805.

⁶⁶ Elbasiouny H. Assessment of Environmental Sensitivity to Desertification, Soil Quality and Sustainability in An Area of The North Nile Delta, Egypt // J. Soil. Sci. 2018. Vol. 58, No. 4, pp. 399-415.

⁶⁷ Яковлев А. С., Гендугов В. М., Глазунов Г. П., Евдокимова М. В., Шулакова Е. А. Методика экологической оценки состояния почвы и нормирование ее качества // Почвоведение. 2009, № 8, с. 984–995.

что может быть использовано в математическом моделировании почвенных процессов⁶⁸ ⁶⁹. Особенности развития почвы может быть смоделировано с помощью имитационных моделей почва-вода-атмосфера-растение (SWAP), которые используются в компьютерной программе моделирования потенциальных урожаев в различных регионах планеты. При этом в качестве базовых элементов используются показатели радиационного и температурного режима, стандартизированные характеристики сельскохозяйственных культур в условиях достаточного запаса воды и питательных веществ и отсутствия вредителей и болезней. На шести типах почвы в трех вариантах ее деградации с учетом прогнозируемого изменения климата до 2100 г. итальянскими исследователями смоделирована динамика качественных характеристик почвы, показано значительное их снижение⁷⁰.

Существует высокая потребность получения данных дистанционного зондирования для оперативного управления почвой и урожайностью сельскохозяйственных культур⁷¹. Пространственное разрешение и временная частота изображений дистанционного зондирования существенно повысились. Это позволяет оценивать почвенные показатели и характеристики растений в высоком пространственном разрешении за счет увеличения объема данных и повышения требований к их обработке. Временная частота изображений дистанционного зондирования также значительно повысилась. В последние десятилетия спутниковые методы и технологии все более широко применяются в решении задачах получения объективной информации об использовании и состоянии сельскохозяйственных земель.

Для этих целей активно разрабатываются и внедряются специализированные информационные системы различного уровня. Однако применение дистанционных методов и геоинформационных технологий в изучении агроландшафтов с точки зрения системного подхода, как в отечественных, так и в зарубежных научных исследованиях, в недостаточной степени развито и требует дальнейшего изучения возможностей их эффективного

⁶⁸ Шеин Е. В., Рыжова И. М. Математическое моделирование в почвоведении. Учебник. М.: «ИП Маракушев А. Б.», 2016. – 377 с.

⁶⁹ Михайленко И. М., Тимошин В. Н. Управление химическим состоянием почв на основе данных дистанционного зондирования Земли // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 1(13). С. 63–74.

⁷⁰ Bonfante, A., Terribile, F., and Bouma, J.: Refining physical aspects of soil quality and soil health when exploring the effects of soil degradation and climate change on biomass production: an Italian case study, SOIL, 5, 1-14, <https://doi.org/10.5194/soil-5-1-2019>, 2019.

⁷¹ Блохина С. Ю. Применение дистанционного зондирования в точном земледелии // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 5.

использования^{72 73 74}. Доступность спутниковой информации (в том числе возможность получения ее по низкой стоимости или бесплатно) существенно расширила возможности ее использования в научных исследованиях и стала одним из наиболее значимых факторов, повлиявших на развитие систем ДЗЗ в последнее десятилетие. Именно доступность информации привела к практически взрывному росту разработок в области использования возможностей спутниковых систем дистанционного наблюдения Земли.

Можно констатировать, что в настоящее время, фактически, появился общедоступный измерительный инструмент, отвечающий требованиям исследователей различных процессов и объектов нашей планеты и обладающий, в совокупности, следующими уникальными свойствами:

- глобальностью зоны наблюдений, т.е. возможностью увидеть то, что нельзя охватить другими системами наблюдений в течение коротких сроков наблюдений;
- объективностью получаемой информации, т.е. независимостью результатов от наблюдателя (пользователя) и условий измерений;
- высокой повторяемостью, т.е. возможностью обеспечить сбор рядов данных, необходимых для слежения за динамикой различных процессов;
- воспроизводимостью, т.е. возможностью получения доступа различным группам ученых к одному и тому же набору данных для независимых проверок полученных результатов;
- наличием архивов долговременных непрерывных наблюдений, в ряде случаев на сроки до 30 лет.

Появление указанных возможностей привело к тому, что возникли совершенно новые возможности для исследования, мониторинга и контроля различных ресурсов нашей планеты. В частности, возможность достаточно быстрого и регулярного получения информации позволила начать создавать новые технологии, связанные с изучением и контролем различных возобновляемых растительных ресурсов, процессы развития которых происходят достаточно быстро. Поэтому в последние годы достаточно быстро развивались

⁷² Козубенко И. С., Савин И. Ю. Спутниковые данные в управление агропромышленным комплексом региона // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 5. С. 9–11.

⁷³ Кулик К. Н., Кошелев А. В. Методическая основа агролесомелиоративной оценки защитных лесных насаждений по данным дистанционного мониторинга // Лесотехнический журнал. 2017. № 3. С. 107–114.

⁷⁴ Chervan' A. The assessment of resource potential of agro-landscapes with use of geo-information systems on the basis of soil cover structure // The Proceedings of the 10th International Soil Science Congress on "Environment and Soil Resources Conservation". 2018. p. 19.

методы и технологии, позволяющие получать на основе спутниковой информации объективные данные о состоянии растительного покрова.

Особо следует отметить, что в России в данной области ведутся активные разработки, которые не только не уступают зарубежным аналогам, но и в вопросах, связанных с созданием методов автоматизированной обработки данных и систем распределенной работы со спутниковой информацией и результатами ее обработки, превосходят зарубежные аналоги. В институтах Российской академии наук в последнее десятилетие созданы уникальные методы, алгоритмы и технологии работы со спутниковыми данными, позволившие решить значительное число научных задач, а также создать прикладные системы дистанционного мониторинга^{75 76}.

Указанные задачи могут быть эффективно решены только в привязке к определенным типам объектов исследования. Кроме того, одной из первостепенных задач, стоящих перед почвоведом страны, является создание общероссийской почвенно-географической базы данных, которая послужит государственным инструментом регулирования использования и охраны почвенных ресурсов России. Компьютерная инвентаризация почвенной информации, совмещение ее с имеющимися цифровыми картами, использование современных ГИС-технологий послужит основой формирования мониторинга состояния почв, разработки единой системы контроля, агрометеорологического и экологического моделирования размещения сельскохозяйственных культур на региональном и общенациональном уровнях⁷⁷.

В настоящее время определенное развитие получила система косвенных оценок состояния почв на основе данных дистанционного зондирования Земли, что может быть использовано в математическом моделировании почвенных процессов⁷⁸. Особенности развития почвы может быть смоделировано с помощью имитационных моделей почва-вода-атмосфера-растение (SWAP), которые используются в компьютерной программе моделирования потенциальных

⁷⁵ Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В., Крашенинникова Ю.С. Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 1. С.26-43.

⁷⁶ Лупян Е.А., Саворский В.П., Шокин Ю.И., Алексанин А.И., Назиров Р.Р., Недолужко И.В., Панова О.Ю. Современные подходы и технологии организации работы с данными дистанционного зондирования Земли для решения научных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т.9. № 5. С.21-44.

⁷⁷ Рожков В.А., Алябина И.О., Колесникова В.М., Молчанов Э.Н., Столбовой В.С., Шоба С.А. Почвенно-географическая база данных России // Почвоведение. 2010. № 1. С. 3–6.

⁷⁸ Шейн Е. В., Рыжова И. М. Математическое моделирование в почвоведении. М.: «ИП Маракушев А. Б.», 2016. – 377 с.

урожаев в различных регионах планеты. При этом в качестве базовых элементов используются показатели радиационного и температурного режима, стандартизированные характеристики сельскохозяйственных культур в условиях достаточного запаса воды и питательных веществ и отсутствия вредителей и болезней.

Как показало исследование, использование космических средств наблюдения Земли является одним из наиболее эффективных и действенных методов получения информации о состоянии сельскохозяйственных систем, что подтверждается многолетними успешными работами научно-исследовательских коллективов в области развития и внедрения методов мониторинга и оценки состояния растительных объектов по данным спутниковых космических наблюдений. Следствием этого стал значительный прогресс в развитии методов и технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), играющих значительную роль в информационном обеспечении решения как фундаментальных, так и прикладных задач.

Развитие технологий Big Data и Data Science, появление сверхпроизводительных вычислительных систем позволяют непрерывно получать, анализировать и использовать информацию по любому региону нашей планеты. В последние годы достаточно быстро развивались методы и технологии, позволяющие получать на основе спутниковой информации объективные данные о состоянии растительного покрова. Особо следует отметить, что в России в данной области ведутся активные разработки, которые не только не уступают зарубежным аналогам, но и в вопросах, связанных с созданием методов автоматизированной обработки данных и систем распределенной работы со спутниковой информацией и результатами ее обработки, превосходят зарубежные аналоги. Спутниковые методы и технологии все более широко применяются в решении задачах получения объективной информации об использовании и состоянии сельскохозяйственных земель. Для этих целей активно разрабатываются и внедряются специализированные информационные системы различного уровня.

Почвы Республики Крым характеризуются сложным составом и представляют собой пеструю мозаику, что обусловлено разнообразием геологического и рельефного строения. Сложность геологического строения, свойств и состава почв объясняется большим спектром почвообразующих горных пород, неоднородностью климата и растительности, которые и определяют разнообразие почвообразовательного процесса, и все они обладают плодородием

и разными свойствами. Пространственная дифференциация почвенного покрова Крыма обусловлена взаимодействием совокупности биоклиматических, литологических, историко-генетических факторов. Геологическое строение Крымского полуострова предопределило проявление горизонтальной биоклиматической зональности в его равнинной части и вертикальной – в горной⁷⁹.

Наиболее важным и известным свойством почвы является ее плодородие. Растение при своём развитии нуждается в питательных веществах, в воде, воздухе и тепле. Та почва, которая способна удовлетворить эти запросы культурного растения, и будет плодородной почвой. В современной литературе уделяется большое внимание теоретическим вопросам сохранения плодородия. Практически все авторы подчеркивают, что основным свойством почвы является плодородие, которое принято рассматривать с нескольких аспектов. С одной стороны, как плодородие реальное, а, с другой стороны, как плодородие потенциальное, которое может быть получено путем внесения соответствующих природным условиям и потребностям растений доз органических и минеральных удобрений. Что же касается реального плодородия, то оно зависит от целого ряда других свойств и характеристик почвы.

Еще одним не менее важным, чем плодородие, является поглотительная способность почвы. Это связано с тем, что элементы минерального питания любое растение берёт своими корнями из почвенных растворов. Но чтобы оно могло забирать необходимые ему вещества, растворы должны быть слабы, то есть на большое количество воды должно быть растворено весьма малое количество солей (не больше 2-3 граммов питательных солей на 1 литр воды). Правда, солей может оказаться, слишком мало, и тогда растение голодает, но оно гибнет и в том случае, когда водный раствор является чрезмерно крепким. Из такого концентрированного водного раствора корни растений не в состоянии впитывать солей, и растение гибнет, как оно погибло бы от голода. Но ведь мы знаем, что количество воды в почве постоянно меняется. После дождей ее больше, в засуху — меньше. Значит должна меняться и концентрация почвенного раствора, а вместе с тем должно «страдать» растение. Оказывается, на помощь растению приходят свойства питающей его почвы, и главным образом ее глинистых частиц

⁷⁹ Почвы в биосфере: сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. 10–14 сентября 2018 г., г. Новосибирск / отв. ред. А.И. Сысо. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. – Ч. I. – 468 с., С.21.

и перегноя. Глинистые частицы и перегной почвы в некоторых пределах регулируют концентрацию раствора. Когда она возрастает, почва поглощает из него часть растворённых веществ. Наоборот, после дождей или искусственного полива почвы, когда в ней значительно увеличивается количество воды, часть веществ, солей, находящихся в твёрдой части почвы, снова переходит в раствор. Очевидно, что в оптимизации пищевого режима почвы должны сыграть большую роль вносимые минеральные удобрения, в первую очередь азотные, фосфорные и калийные.

Во многих случаях поглощаются как раз те вещества, какие нужны растению, как, например, калий, кальций, фосфорная кислота, соединения кальция и некоторые другие. Однако наряду с ними почва поглощает и натрий, который резко ухудшает все ее свойства. Натрий содержится в поваренной (пищевой) соли, в глауберовой соли, которую используют как слабительное, и в некоторых других солях. Почвы богатые соединениями легко растворимых солей выделяют в группу засоленных и наиболее распространенными в природе будут солонцы и солончаки. Именно эти почвы и стараются исключить из практики сельскохозяйственного использования. Способность почвы, твёрдой её части, поглощать из водного раствора и связывать (с тем, чтобы потом опять отдать) некоторые вещества и соли как раз и является поглотительной способностью почвы.

В работах разных авторов этому свойству уделяется главная роль. Подчеркнем, что поглотительная способность почвы зависит главным образом от содержания в почве мельчайших коллоидальных частиц — минеральных, органических и совокупности тех и других (органоминеральных частиц). Важной особенностью любого почвенного коллоида будет его знак заряда, т.е. они бывают как положительно, так и отрицательно заряженными. Эта особенность коллоидов определяет их способность притягиваться друг к другу и образовывать агрегаты. Коллоиды состоят из ядра и нескольких слоев ионов. Именно поглощенные ионы и определяют химический состав почвенной массы.

Эта часть почвы, представленная разнообразными коллоидами, называется поглощающей её частью, или поглощающим комплексом. Величина этого комплекса зависит от гранулометрического состава и гумусированности. Большая часть почвенных коллоидов – органические и их количество в пахотных почвах зависит от количества и качества вносимых органических удобрений. Почва может поглощать даже некоторые газы, например, аммиак, которым так сильно пахнет в конюшнях. Поглощённый почвой аммиак при участии бактерий

переводится в селитру. Почва как природное тело не только поглощает газы, но и выделяет их в окружающую среду, обеспечивая своеобразный газообмен между атмосферой и почвенным покровом. Это явление в литературе⁸⁰ получило название «дыхания» почвы.

Еще одним очень важным химическим свойством почвы является реакция среды почвы, с которым связан рост и продуктивность растений. Авторы^{81 82 83} отмечают, что если в почве много органических кислот (например, кислого гумуса) или щелочей (например, соды), то культурное растение гибнет. Большинство культурных растений любит, чтобы почвенный раствор не был ни кислым, ни щелочным; он должен быть средним, нейтральным. Оказывается, что реакция почвы в сильнейшей степени зависит от того, какие вещества поглощены почвой. Общеизвестные факты говорят о том, что если почва (твёрдая её часть) поглотила алюминий или водород, она будет кислой; почва, забравшая из раствора натрий, будет щелочной, а почва, насыщенная кальцием, будет иметь нейтральную реакцию. Водород содержится в воде и в различных кислотах. Кроме того, водород в почвенный раствор выделяют, по-видимому, корни живых растений. Кальций содержится в извести, в гипсе и в других солях, алюминия много в глине и других минералах. Учитывая выше названную особенность кальция, практики-почвоведы предлагают регулировать реакцию среды почвы путем ее известкования, т. е. внесения определенных доз молотого известняка, мергеля или доломита.

В природе разные почвы имеют и разную реакцию своей среды. Так, например, болотные и подзолистые почвы, а также краснозёмы отличаются повышенной кислотностью, солонцы — щёлочностью, а чернозёмы — нейтральной реакцией. Большую роль в жизни почвы как среды обитания и природного тела играют структура (агрегатный состав) и ее водопрочность. Неоднократно о значении структуры почвы говорили в своих последних публикациях специалисты-почвоведы^{84 85 86}. Они отмечали, что все свойства почвы, важные для развития сельскохозяйственных растений, получают

⁸⁰ Агрохимические методы исследования почв. — М.: Наука, 1975. — 656 с.

⁸¹ Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. — М.: Изд.-во Моск. ун-та, 1989. — 336 с.

⁸² Воробьева Л.А., Панкова Е.И. Природа щелочности и диагностика щелочных почв аридных и семиаридных территорий // Агрехимия, 1995, № 1. — С. 108-114.

⁸³ Когут Б.М. Принципы и методы оценки содержания трансформируемого органического вещества в пахотных почвах // Почвоведение, 2003, № 3. — С. 308-316.

⁸⁴ Панников В.Д., Минеев В.Г. Почва, климат, удобрение и урожай. — М.: Колос, 1977. — 414 с.

⁸⁵ Шишов Л.Л., Карманов И.И., Дурманов Д.Н. Критерии и модели плодородия почв. — М.: ВО «Агропромиздат», 1987. — 184 с.

⁸⁶ Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. — М.: Мысль, 1972. — 424 с.

наилучшее выражение в структурных почвах. Структурная почва содержит в себе одновременно воду и воздух. Вода в такой почве помещается внутри комочков и в капиллярах между ними, а воздух — в крупных пустотах между комочками, по их поверхности и отчасти в самих комочках — в крупных канальцах и ячейках. Очень важно, чтобы агрегаты почвы не разрушались водой во время дождя или при активном ее орошении. Важным технологическим свойством орошаемых почв является водопрочность структуры, которое зависит от содержания гумуса и ряда других химических свойств почвенной массы.

В этой связи отметим, что практически все специалисты-почвоведы отмечают такую важную характеристику структурных почв, как хорошие тепловые свойства. Именно в структурной почве благоприятно развиваются полезные для растений микроорганизмы. Минеральная часть в такой почве легче выветривается и освобождает питательные вещества. В такой почве лучше разлагаются растительные и животные остатки, а внутренняя, более плотная часть комочков является «лабораторией», где накапливается высококачественный, нейтральный, «сладкий» перегной (гумус). В конечном итоге структурная почва всегда даёт более высокий урожай сельскохозяйственных растений. Это важное агрономическое свойство почвы может целенаправленно изменено с помощью различных механических орудий (плуг, борона, культиваторы и т.д.). Периодичность и набор видов механической обработки почвы зависят от ее свойств и потребностей выращиваемых растений, т.е. разных природных зона они будут неодинаковыми.

Одной из важнейших характеристик почв является гранулометрический состав в силу того, что он оказывает влияние на свойства и питательный режим почв, а также непосредственно влияет на характер, направленность и скорость почвообразовательных процессов и формирование почвенного плодородия. При этом интенсивное антропогенное воздействие на почвенный покров приводит к изменению не только наиболее динамичных свойств почвы, но и оказывает существенное влияние на изменение ее гранулометрического состава, который является достаточно консервативной составляющей характеристики почвы.

Проблеме эволюции почв и почвенного покрова в почвоведении всегда уделялось большое внимание. В настоящее время сформулирована концепция памяти почв, согласно которой в устойчивых почвенных свойствах записываются

и запоминаются условия среды, в которых формировалась почва⁸⁷. Носителями «почвенной памяти» являются почвенные минералы, карбонатные и иные новообразования, гумус, микробиоморфы и др.

Исследования, проведенные автором работы⁸⁸ показали, что именно гумус играет особую роль, поскольку этот почвенный компонент сенсорен и рефлекторен по отношению к природной среде, представляет собой открытую природную систему гумусовых веществ, формирующуюся по законам термодинамики и обладающую способностью к саморегуляции и самовосстановлению. Гумусовые профили исследованных почв имеют сложное строение и отражают их контрастную эволюцию. Информация об изменении природных условий, фазах и стадиях педогенеза фиксируется в характере изменения по профилям отношения углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот, в распределении доли гуматов кальция и гуминовых кислот в целом, фульвокислот и их свободной фракции. Гумусовые профили являются надежными носителями «почвенной памяти» и могут использоваться в качестве инструмента для считывания информации об эволюции природной среды на протяжении периода формирования почвенного тела.

Система хозяйствования оказывает воздействие на состояние почвы, от которого, в свою очередь, зависит производство продуктов питания, возможность сохранения или повышения производительности.

Как известно, качество почвы можно определить по ряду показателей, среди которых отметим, прежде всего, способность конкретного типа почвы функционировать в рамках границ естественно-управляемой экосистемы для сохранения продуктивности растений и животных, сохранения или повышения качества воды и воздуха, и для охраны здоровья человека и его места обитания. Еще одним важным показателем качества почвы является степень ее пригодности для конкретного использования, а также способность почвы обеспечивать высокую производительность, без существенной деградации и вреда окружающей среде.

При этом качество почв оценивается на основе физических, химических и биологических показателей. Однако качество почвы может меняться как в результате определенных агротехнических приемов, связанных с технологиями

⁸⁷ Таргульян В.О. Память почв: формирование, носители, пространственно-временное разнообразие // Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий / отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 24–57.

⁸⁸ Дергачева М.И. Гумусовая память почв // Память почв: Почва как память биосферно-геосферноантропоферных взаимодействий / отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 530–560.

возделывания сельскохозяйственных культур (вспашка, оставление растительных остатков и др.), так и под воздействием экологических факторов (температура, осадки и др.). Сравнительная оценка качества почвы – это процесс, при котором производительность системы определяется в зависимости от альтернативных систем земледелия. Биотические и абиотические качества почвенных систем во всех альтернативных системах земледелия сравниваются во времени.

1.3 Оценка свойств почв как основа их дешифрования по данным дистанционного зондирования

Одной из актуальных задач как теоретического, фундаментального, так и прикладного почвоведения, является количественная оценка и математическое моделирование пространственной и временной изменчивости свойств почвы. Исследования, проводимые учеными-почвоведцами, показали, что даже в гомогенных объектах почвы характеризуются существенными флуктуациями и варьированием свойств в пространстве. Изменчивость свойств на всех уровнях организации почвенного покрова является одним из фундаментальных свойств почвы, как открытой сложной, динамичной и эволюционирующей системы. Создание вероятностно-статистических и информационных моделей свойств почв для разных таксономических уровней помогает выявить характер и количественно оценить разноразноуровневую изменчивость почвенных свойств при различном количественном проявлении почвообразующих факторов.

Как показало исследование, вопрос о почвенной классификации является предметом активных научных дискуссий⁸⁹. При этом исследователи отмечают, что большинство почвенных классификаций основано на генетическом подходе⁹⁰⁹¹⁹²⁹³. В свою очередь автор работы⁹⁴ отметив, что ни одна из имеющихся классификаций не может объединить в себе все стороны и все характеристики почвы, сформулировал свою идею о базовой классификации, и построил ее на современных теоретических представлениях о генезисе и свойствах почв. При этом И.А. Соколов совершенно обоснованно показал, что проблема заключается

⁸⁹ Рожков В.А. Классификация почв – не место для дискуссий // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 72. С. 47–64.

⁹⁰ Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.

⁹¹ Классификация почв России / сост. Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.Н. Лебедева. М., 2000. 235 с.

⁹² Soil Taxonomy: USDA. Agric. Handbook. Washington, 1975. № 436.

⁹³ Фридланд В.М. Основные принципы и элементы базовой классификации почв и программа работы по ее созданию. М., 1982. 149 с.

⁹⁴ Соколов И. А. О базовой классификации почв // Почвоведение. 1978. № 8. С. 113–123.

не в самих принципах классификации, а в процессе диагностирования реальных почв по этим классификациям.

Говоря о недостатках современных классификаций, исследователи чаще всего выделяют недостаточность количественных параметров диагностики почв по разным таксономическим уровням^{95 96}. Совершенно очевидно, что наибольшая проблема связана с классификацией почв так называемых переходных групп (подтипы, классификационные «соседи»), что не позволяет осуществлять объективную диагностику данных видов почв. Такое положение приводит к необходимости представления количественных критериев, диапазон которых должен быть недостаточно широким, а для этого его необходимо ограничить определенными региональными рамками. То есть, по сути, требуется разработка региональных эталонов, которые будут дополнять и конкретизировать базовую классификацию почв⁹⁷. Ранее проведенные нами исследования показали, что именно математический подход может стать основой формирования методов классификации.

Для проведения подобного анализа необходимо качественные признаки (таксономические группы почв) перевести в количественные. Данное исследование было представлено в работе⁹⁸, где Е.Г. Пивоварова и К.С. Вепрынцева для перевода качественных признаков почв (таксономические группы почв) в количественные, выстроили их в генетически сопряженный ряд, отражающий интенсивность основного почвообразовательного процесса в соответствии с номером ранга. При разработке центральных образов зональных почв в качестве функции (зависимой величины) у авторов выступили основные физико-химические свойства почв. Результаты информационного анализа показали исследователям, что в целом таксономические признаки в почвах исследуемого района имеют невысокий таксономический вес. В целом, они выявили, что некоторые признаки (сумма поглощенных оснований и содержание обменного калия и подвижного фосфора) имеют более высокий таксономический вес в подпахотном горизонте, чем в пахотном. Это объясняется тем, что пахотный

⁹⁵ Добровольский Г.В., Трофимов С.Я. Систематика и классификация почв (История и современное состояние). М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. 78 с.

⁹⁶ Шишов Л.Л., Лебедева И.И., Тонконогов В.Д. Классификация почв России и перспективы ее развития // Почвоведение: история, социология, методология. Памяти основателя теоретического почвоведения В.В. Докучаева. М.: Наука, 2005. С. 272–279.

⁹⁷ Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск, 2004. 296 с.

⁹⁸ Почвы в биосфере: сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. 10–14 сентября 2018 г., г. Новосибирск / отв. ред. А.И. Сысо. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. – Ч. I. – С.79.

горизонт в результате гомогенизации под действием сельскохозяйственного использования утратил отличительные особенности между данными таксономическими группами. Авторы также провели информационный анализ, который им позволил также определить специфичные (наиболее вероятные) состояния свойств для каждой таксономической группы исследуемых почв. Они совершенно обоснованно доказали, что набор этих свойств может служить центральным образом определенного таксономического типа (подтипа) для почв данного региона (региональный эталон).

Также представляет интерес предложенная данными авторами информационно-логическая модель регионального эталона для исследуемого почвенного района, основанная на сопоставлении коэффициентов эффективности передачи информации, специфичных состояний и информативности, на основе которых распознаются функции многозначной логики – конъюнкции, дизъюнкции и нелинейного произведения⁹⁹.

Авторы показали, что эти функции позволяют определить действие и взаимодействие равных по силе факторов на изучаемое явление (таксономическую группу – тип, подтип). Чем большее коэффициент эффективности передачи информации, тем более значимый фактор, в информационной модели эти факторы стоят на более близких к знаку равенства позициях. Оптимизация полученной модели производилась опытным путем, а именно исключением наименее значимых признаков, без потери прогнозирующей способности модели.

Преимуществом данного метода является то, что безошибочный прогноз полученной модели составил 53%, а с ошибкой в один ранг прогнозирующая способность модели увеличивается до 93%. Достоверность модели оценивалась с помощью параметрических критериев. Полученная информационно-логическая модель зональных почв может использоваться не только для объективного определения «центральных образов» классификационных «соседей», но и для мониторинга за современным состоянием почв исследуемой подзоны и его изменением под антропогенным воздействием.

Для нашего исследования представляют также интерес физико-химические методы оценки состояния почв. Это связано с тем, что наиболее активной частью почвы, содержащей вторичные минералы различного состава, строения и свойств,

⁹⁹ Пузаченко Ю.Г., Карпачевский Л.О., Взмудзаев Н.А. Возможности применения информационно-логического анализа при изучении почвы на примере ее влажности // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. М.: Наука, 1970. С. 103–121.

является высокодисперсная минеральная основа, исследование которой требует применения физико-химических методов.

Как совершенно обоснованно отмечается в ряде работ^{100 101 102 103}, среди вторичных минералов центральное место занимают глинистые трехслойные минералы, которые обладая переменным составом и большой поверхностью определяют важнейшие химические, физические и физико-химические свойства почв, играют важную роль в адсорбции гумусовых веществ и составляют основу глино-гумусовой плазмы почв.

Несмотря на наличие достаточно большого количества работ по изучению состава, структуры и свойств глинистых минералов в различных природных образованиях, именно количественный анализ взаимодействия глинистых минералов с растворами и расчет их равновесий изучены еще недостаточно, что обусловлено наличием как объективных, так и субъективных причин. Так, прежде всего, отметим сложность проблемы, с одной стороны, и, с другой стороны, отсутствие способов определения коэффициентов активности «минералов» в таких минеральных системах. Поэтому необходимо найти и обосновать возможности количественного анализа равновесий глинистых минералов в почвах на основе определения коэффициентов активности минералов с использованием метода физико-химического моделирования, которое представлено автором работы¹⁰⁴.

Определение коэффициентов активности минералов глинистых минералов дает возможность на основе общего химического состава тонких коллоидов рассчитывать их равновесный состав и прогнозировать эволюцию состава в зависимости от изменения внешних условий.

Отметим, что агрохимическое обследование почв проводят специалисты отделов почвенно-агрохимических изысканий государственных центров (станций) агрохимслужбы (ГЦАС, ГСАС). При производственной необходимости к проведению этих работ могут привлекаться специалисты других подразделений ГЦАС (ГСАС), а также районных (межрайонных), хозяйственных (межхозяйственных) агрохимических лабораторий, имеющие в обязательном порядке лицензии на проведение этих работ.

¹⁰⁰ Градусов Б.П. Глинистые минералы основных типов почв земледельческих областей СССР (состав, генезис, преобразование): Автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук. М., 1980. 40 с.

¹⁰¹ Добровольский Г.В., Шоба С.А. Растровая электронная микроскопия почв. М.: Изд-во МГУ, 1978. 144 с.

¹⁰² Курачев В.М. Минеральная основа почвенного поглощающего комплекса. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 227 с.

¹⁰³ Соколова Т.А. Глинистые минералы в почвах гумидных областей СССР. Новосибирск: Наука, 1985. 250 с.

¹⁰⁴ Карпов И.К. Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии. Новосибирск: Наука, 1981. 245 с.

Кроме факторов почвообразования в последнее время выделяется фактор антропогенного воздействия на почвы. Что касается Крыма, то данный регион освоен людьми еще издавна, с древних времен. Жизнедеятельность человека всегда была различной интенсивности, что, в свою очередь, повлияло на глубину процессов трансформации почв и ландшафтов. Говоря об изменении ландшафтов следует обратить внимание на тот факт, что данный процесс зависел напрямую от изменений, происходящих в социально-экономической сфере Крыма, степени заселения и уровня освоения его территории. Таким образом происходило активное антропогенное преобразование территории Крымского полуострова, что, в конечном итоге, привело к активизации процессов деградации почвенного покрова.

Прежде всего это проявилось в упрощении структуры почвенного покрова при его распашке. Также на больших территориях наблюдается развитие вторичных деградационных процессов, среди которых дефляция, водная эрозия, дегумификация, загрязнение балластными компонентами удобрений, остаточными количествами ядохимикатов и др. наиболее характерным для Крыма стала водная эрозия и дефляция, которая имеет очень серьезные последствия. К примеру, в мире ежегодно выводится из пахотного фонда до 6–7 млн га под влиянием водной эрозии и дефляции. В Крыму эрозионные процессы наиболее активно развиваются в агроландшафтах горных и предгорных районов. Этому способствуют геоморфологические и почвенно-геологические особенности территории, а также высокая степень ее распаханности¹⁰⁵.

Влияние сельскохозяйственной деятельности в Крыму на почвы и другие компоненты природной среды носит региональный и стойкий по времени характер. С внесением удобрений в почвы поступает значительное количество тяжелых металлов, которые образуют ореолы загрязнения пород зоны аэрации и грунтовых вод. Многие современные потоки несвойственных зональным экосистемам химических элементов поступают в почву в результате применения пестицидов, гербицидов и минеральных удобрений. Так в 2017 году в результате эколого-токсикологического обследования почв на территории Республики Крым, по данным центра агрохимслужбы установлены факты загрязнения почв тяжелыми металлами и пестицидами, повышенное содержание свинца (Советский и Красногвардейский районы). Повышенное содержание меди и

¹⁰⁵ Ергина Е.И. Пространственно-временные закономерности процессов современного почвообразования на Крымском полуострове. Симферополь: АРИАЛ, 2017. - 224 с.

свинца связано с применением в предыдущие годы медьсодержащих агрохимикатов при возделывании многолетних насаждений. В минеральных удобрениях, применяемых в настоящее время содержится кадмий, свинец, медь, цинк. Длительное время при мелиорации засоленных почв на большей территории Равнинного Крыма используется фосфогипс – промышленный отход при получении аммофоса в ООО «Титановые инвестиции» в городе Армянске Краснопереконского района, в составе которого обнаружены свинец, мышьяк, кадмий, фтор¹⁰⁶.

В таких условиях немаловажным является оценка экологического состояния почв на основе санитарно-гигиенических показателей. Экологическое состояние почв чаще всего оценивается загрязнением их химическими веществами первых классов опасности для всего живого¹⁰⁷. Изучение биологического загрязнения почв патогенными и условно патогенными формами организмов, несмотря на существующую законодательную базу¹⁰⁸, до сих пор не получило широкого развития. Вместе с тем, имеет место участвовавшие в последние годы случаи заражения населения различными кишечными инфекциями, что отражено не только в средствах массовой информации, но и в государственной документах¹⁰⁹. А, как известно, почвы, загрязненные патогенными микроорганизмами, способствуют усилению эпидемической опасности территории. Важность медико-гигиенических исследований почв подчеркивал еще в 1890 году основоположник отечественного почвоведения В.В. Докучаев в докладе на VIII съезде русских естествоиспытателей и врачей¹¹⁰.

Поэтому необходима качественная и достоверная оценка экологического состояния и качества почв по паразитологическим (цисты патогенных простейших, яйца гельминтов и личинки гельминтов жизнеспособные) и микробиологическим (патогенные бактерии, в том числе сальмонеллы, бактерии группы кишечной палочки и энтерококки) показателям.

В рамках нашего исследования представляет интерес анализ такого важного свойства почв, как спектральная отражательная способность, что может

¹⁰⁶ Центр агрохимической службы «Крымский». URL: <http://agrohim82.ru/news/osnovnyienapravleniya-povyisheniya-effektivnosti-zemlepolzovaniya-respubliki-kryim>

¹⁰⁷ ГОСТ 17.4.4.02-83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.

¹⁰⁸ О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федеральный закон от 30.03.99 № 52-ФЗ // Собрание законодательства РФ. 1999. № 14. Ст. 1650.

¹⁰⁹ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2014 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 2015. 206 с.

¹¹⁰ Докучаев В.В. Об исследовании С.-Петербурга и его окрестностей // Соч.: в 7 т. М.: Изд-во АН СССР. 1953. Т. VII. С. 445-478.

достаточно успешно применяться для определения различных характеристик почв, и их использование способно заменить традиционные трудоемкие лабораторные методы анализа^{111 112 113 114 115}.

При этом нужно учесть, что поверхность почв меняется под воздействием различных факторов, что также необходимо учитывать при картографировании почвенных свойств по дистанционным данным¹¹⁶.

¹¹¹ Barnes E. M., Baker M. G. Multispectral data for soil mapping: possibilities and limitations // ASAE Paper. 1999. № 99. pp. 1138–1153.

¹¹² Fox G. A., Sabbagh G. J. Estimation of soil organic matter from red and near-infrared remotely sensed data using a soil line Euclidian distance technique // Soil Sci. Soc. Am. J. 2002. № 66. pp. 1922–1928.

¹¹³ Daughtry C. S. T., Bausch W. C. Remote- and Ground-Based Sensor Techniques to Map Soil Properties // Photogramm. Eng. Remote Sens. 2003. Vol. 69. № 6. pp. 619–630.

¹¹⁴ Metternicht G., Zinck J.A. Remote Sensing of soil salinization. Impact on land management. New York, CRC Press, 2009. 307 p

¹¹⁵ Mulder V. L., De Bruin S., Schaepman M. E., Mayr T. R. The use of remote sensing in soil and terrain mapping – A review // Geoderma. 2011. Vol. 162. № 1. pp. 1–19.

¹¹⁶ Savin I., Prudnikova E., Vasilyeva N., Bairamov A. Seasonal Changes of Tilled Soil Surface as Information Factor for Efficient Soil Mapping Using Remote Sensing Data // Digital soil maps for everyone. 2016. pp. 75.

ОБСЛЕДОВАНИЕ, КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ ПОЧВ

2.1 Научно-методические аспекты дистанционного мониторинга почв

2.2 Методы обследования и картографирования почв

2.3 Дистанционные методы и средства мониторинга и оценки плодородия почв

2.1 Научно-методические аспекты дистанционного мониторинга почв

Важность почвы невозможно переоценить. Почва является природным ресурсом, охватывающим большие площади земной поверхности. Почва играет много разных и жизненно важных ролей в экосистемах, таких как потоки энергии и продуктивность растений и животных для удовлетворения потребностей человека. Учитывая и оценивая важность свойств почвы для любого вида земледелия, мониторинг и выбор передовых методов управления для защиты почвы необходимы и имеют решающее значение для обеспечения плодородия виноградных агроценозов. Мониторинг является эффективной системой контроля за состоянием почвы и позволяет своевременно выявлять изменения, оценивать их, предупреждать и устранять последствия негативных процессов. Он осуществляется при помощи различных методов. Одними из самых оптимальных с точки зрения экономии времени и средств являются дистанционные методы мониторинга.

Как было отмечено, влажность почвы на разной глубине очень полезна для роста растений. Содержание воды в поверхности почвы (вода удерживается на глубине 0-10 см) является ключевым свойством потоков энергии и гидрологических процессов на поверхности почвы. Поэтому прогнозирование влажности почвы и мониторинг влажности почвы на непосещаемых территориях обеспечили бы рентабельный способ помочь агропредприятиям в использовании передовых методов управления для защиты состояния почвы и повышения ее влажности. Работа по измерению влажности почвы на больших площадях вызывает необходимость использовать новую методологию, такую как RS.

Недавние исследования показали, что наиболее подходящим приложением для оценки влажности почвы являются данные микроволнового излучения. Однако на точность микроволновых данных отрицательно влияют тип почвы, тип растительности, остатки на поверхности и шероховатость поверхности.

Что касается такого важного свойства почвы, как засоление, то его можно охарактеризовать как один из наиболее деградирующих процессов. А использование обычных лабораторных методов для измерения засоления почвы требует больших затрат и времени.

Работы, проведенные по изучению возможности использования ДЗЗ для мониторинга засоленности почв по спутниковым снимкам, показали наличие сильной корреляции между наблюдаемой засоленностью почвы и оценкой засоленности почвы на основе RS. Кроме того, выявлено, что мониторинг засоления почвы с помощью RS рентабельным способом возможен с использованием данных об отражательной способности Hyperion. Однако существует ограничение на оценку засоления почвы на основе многоспектральных спутниковых изображений. Спутниковые изображения с низким спектральным и пространственным разрешением могут вызвать неправильную классификацию голых, текстурированных почв как засоленных.

В исследовании по мониторингу засоления почв¹¹⁷ авторы использовали методы дистанционного зондирования и ГИС для анализа свойств почвы на юго-востоке Польши. В частности, эти методы использовались для проведения временного и пространственного анализа засоленности почвы, а также рН почвы. Тщательные процедуры интерполяции были проведены с использованием программного обеспечения для анализа изображений специалиста как ArcMap® и ENVI® и эти программные пакеты позволяют визуализировать данные в виде растровых и векторных карт для пространственного распределения исследуемых свойств почвы. Для анализа данных ДЗЗ использовались спутниковые снимки Landsat 5 Thematic Mapper (TM). В аналогичном исследовании¹¹⁸ использовали ГИС и ДЗ для оценки свойств почвы в округе Финни, штат Канзас. Карта землепользования и земного покрова (LULC) была составлена с использованием сезонных изображений Landsat (TM). Методы географической информационной

¹¹⁷ Application of GIS and Remote Sensing Techniques in Multitemporal Analyses of Soil Properties in the Foreland of the Carpathians. Ewa Glowienka¹, Krystyna Michalowska², Agnieszka Pekala³ and Beata Hejmanowska⁴
Published under licence by IOP Publishing Ltd. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 44, Issue 5

¹¹⁸ Wu, M., Littleton, T., Bhat, M., Pevsner, J., Bellen, H. (1997). ROP plays both a necessary and an inhibitory role in neurotransmitter release. *A. Dros. Res. Conf.* 38 : 3B.

системы помогли рассчитать индекс эродлируемости почв, а точность была значительно выше, чем при расчетах вручную. А в исследовании¹¹⁹ отмечено, что существует сильная корреляция между измеренными значениями эродлируемости почвы и значениями, рассчитанными на основе оценок эродлируемости почвы. Данные исследования¹²⁰ продемонстрировали полезность многолетних (временных) данных отражательной способности поверхности Landsat в качестве меры для характеристики пространственного засоления почвы.

Еще больше исследований продемонстрировали важность данных RS для определения свойств почвы, таких как ил, песок, SOC и содержание глины, на основе взаимосвязей между спектрами отражения и свойствами почвы^{121 122 123}.

Текстура почвы существенно влияет на почвенные и экологические процессы в почве, такие как инфильтрация, совокупная стабильность, ветровая и водная эрозия почвы. Количественные карты текстуры почвы, основанные на инструментах RS, полезны с точки зрения управления и прогнозирования конкретных областей при сравнении с традиционными картами¹²⁴. В исследовании¹²⁵ авторы пришли к выводу, что использование диапазонов 2 (видимый красный) и 8 (коротковолновое инфракрасное излучение, SWIR) изображения улучшенного космического теплового излучения и отражения (ASTER) и первого основного компонента 1 (преобразование 9 диапазонов ASTER в новый набор данных для идентификации количества концевых элементов) были полезны для различения свойств почвы, таких как текстура почвы.

Кроме того, есть и другие варианты отображения текстуры почвы, например, гиперспектральные данные. Гиперспектральное дистанционное зондирование в основном предоставляет более подробную информацию о

¹¹⁹ Reference: Zhang L, et al. (2008) *Spn1 regulates the recruitment of Spt6 and the Swi/Snf complex during transcriptional activation by RNA polymerase II*. Mol Cell Biol 28(4):1393-403.

¹²⁰ Scudiero, E., Corwin, D. L., and Skaggs, T. H. (2015). Regional-scale soil salinity assessment using landsat ETM+ canopy reflectance. Remote Sens. Environ. 169, 335–343. doi: 10.1016/j.rse.2015.08.026

¹²¹ Baker, Matthew. E. ; Barnes. Burton. V. 2000. Diversity in riparian landscapes. In: Verry. J. on. S.; et al., eds. Riparian landscapes in a changing world: a review of the continental.

¹²² Kearl, Megan, "Thomson, et al. v. Thompson, et al. (2001)". *Embryo Project Encyclopedia* (2010-09-29). ISSN: 1940-5030 <http://embryo.asu.edu/handle/10776/2059>.

¹²³ Gomez, C., Ozbudak, E.M., Wunderlich, J., Baumann, D., Lewis, J., and Pourquié, O. Date: 2008. Source: Nature 454(7202): 335-339 (Journal) Generate reference.

¹²⁴ Predictive soil mapping: a review Show all authors P. Scull, J. Franklin, O. A. Chadwick. First Published June 1, 2003 Research Article <https://doi.org/10.1191/0309133303pp366ra>

¹²⁵ Apan et al., 2004 A. Apan, A. Held, S. Phinn, J. Markley Detecting sugarcane 'orange rust' disease using EO-1 Hyperion hyperspectral imagery International Journal of Remote Sensing, 25 (2) (2004), pp. 489-498.

спектральных данных для каждого пикселя изображения¹²⁶. Авторы работы¹²⁷ использовали данные радара TERRASAR-X для измерения и прогнозирования текстуры поверхности почвы в полувлажном регионе и обнаружили, что текстура почвы коррелировалась с радиолокационными изображениями. TERRASAR-X - немецкая национальная спутниковая система РЛС с синтезированной апертурой (SAR). Как показывают данные проведенных исследований, основным преимуществом данной системы является ее способность комбинировать изображения с высоким разрешением, что позволяет провести более полный анализ.

На протяжении десятилетий исследователи сосредотачивались на поиске простого, эффективного по времени и недорогого способа картирования, мониторинга и оценки использования почвы и изменений свойств почвы путем разработки приложений дистанционного зондирования, таких как использование микроволн, обнаружение света и определение дальности (LiDAR), мультиспектральные изображения и спектрометрия.

Объединив визуальные эффекты цифровой модели рельефа (ЦМР) для классификации рельефа и датчика ASTER, авторы исследования¹²⁸ обнаружили, что спектральные данные RS увеличивают вероятность дифференциации топографически однородных форм рельефа. Исследование¹²⁹ также доказало целесообразность и преимущества использования Landsat и Shuttle Radar Topographic Mission DEM для анализа элементов ландшафта.

Авторы работы¹³⁰ наблюдали синтез данных усовершенствованного радиометра сверхвысокого разрешения с грубым разрешением, и полученные по ЦМР данные о местности оценили, как благоприятные для характеристики очерчивания почвенных структур и почвообразовательных сред. В этой связи отметим, что цифровая карта высот (цифровая модель рельефа) представляет собой растровый файл с данными высот для каждой пиксельной ячейки, используемый для создания разрезов и карт уклонов указанных областей. По сути

¹²⁶ Ben-Dor E, Kindel B, Goetz A F H. 2004. Quality assessment of several methods to recover surface reflectance using synthetic aperture radar (SAR) and optical imaging spectroscopy data. *Remote Sens Environ.* 90: 389–40

¹²⁷ Zribi, O. T., Labidi, N., Slama, I., Debez, A., Ksouri, R., Rabhi, M., et al. (2012). Alleviation of phosphorus deficiency stress by moderate salinity in the halophyte *Hordeum maritimum* L. *Plant Growth Regul.* 66, 75–85. doi: 10.1007/s10725-011-9631-9

¹²⁸ Совместное мобильное позиционирование на основе мощности принимаемого сигнала

А.С. Сурк, Р. Саадат, А.А. Тадаион. Международный симпозиум по телекоммуникациям 2008 г., 273-277.

¹²⁹ Ehsani, A.H. and F., Quiel, 2009. A semi-automatic method for analysis of landscape elements using shuttle radar topography mission and landsat ETM+ data. *Computers & Geosciences*, 35: 373-389.

¹³⁰ Dobos, E., Carré, F., Hengl, T., Reuter, H.I., Tóth, G., 2006. Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg.

это цифровая модель местности, созданная путем цифрования картографических источников, фотограмметрической обработки данных дистанционного зондирования, цифровой регистрации.

Одним из способов создания цифровых моделей рельефа является радиолокационная съемка. Цифровые модели рельефа можно также делать на основе данных наземной геодезической съемки или с помощью интерполяции горизонталей и отметок высот, оцифрованных по уже существующим топографическим картам. Также ЦМР делают фотограмметрическим способом, на основе стереопар снимков (парные снимки одной и той же территории, снятые с разного ракурса), полученных со спутников или в ходе аэрофотосъемки. Кроме того, существует технология воздушного лазерного сканирования, позволяющая определять высоты поверхности.

Главным достоинством радиолокационной съемки является независимость реализации процесса от времени суток и погодных условий, что позволяет получить изображение земной поверхности даже при сплошной облачности. Кроме того, явным преимуществом является то, что если вести радиолокационную съемку из космоса, то можно очень оперативно, порядка 1-2 дней, получить данные глобального охвата.

Вместе с тем, для измерения высоты поверхности одного радиолокационного изображения недостаточно. Необходимо применить особую технологию съемки, которая получила название радиолокационная интерферометрия. Суть процесса заключается в том, что съемка производится сразу двумя антеннами, расположенными на удалении друг от друга. Таким образом получается сразу два изображения, на основе различий которых как раз и высчитывается высота поверхности. Но здесь нужно учесть такой важный момент, что если над поверхностью находятся какие-либо возвышающиеся объекты (например, лес или здания), то будет определена именно их высота, а не высота поверхности под ними. Поэтому SRTM получили название цифровой модели рельефа с определенной долей условности. Более точным было бы выражение «цифровая модель поверхности», но его используют гораздо реже. Это относится к любым ЦМР, которые создают на основе дистанционных снимков Земли, как радиолокационных, так и стереопар оптических снимков. Поэтому, чтобы создать ЦМР, содержащую только высоты поверхности, нужно использовать наземную геодезическую съемку. А для данных воздушного

лазерного сканирования существуют методы, которые позволяют разделить измерения, сделанные от поверхности земли и от надповерхностных объектов.

ЦМР позволяют не только визуализировать рельеф в виде трехмерных поверхностей (как на главном изображении) или в плоском двумерном виде (как на топографических картах), с их помощью можно вычислить различные морфометрические параметры рельефа (уклон поверхности, экспозиция и кривизна склонов), построить зоны видимости, вычислить объемы насыпей и выемок, что позволит дать более полную характеристику виноградным агроценозам. На сегодняшний день модель SRTM является одной из самых популярных ЦМР, что связано как с ее обширным территориальным охватом, так и с доступностью для широкого круга пользователей.

Что касается дистанционного зондирования почвенного органического углерода (ПОУ), то здесь необходимо составление карты содержания SOC, для чего следует использовать геостатистические методы. При этом количество содержания SOC в различных склонах, почвах и категориях землепользования может быть проанализировано с использованием методов ГИС и ДЗ. Исследования, прогнозирующие ПОУ, в первую очередь основаны на различных методах, точности результатов и получении необходимого количества образцов почвы. Как правильно отмечается в работе¹³¹, увеличение производственных затрат и стоимости продукции растениеводства побуждает производителей искать современные технологии для повышения урожайности и систем управления земельными ресурсами.

Отметим, что ПОУ, как и многие другие свойства почвы, в значительной степени зависит от типа почвы, а также от различных переменных окружающей среды. За прошедшие годы на поверхности Земли произошли глубокие изменения в землепользовании и почвенном покрове. Такие виды деятельности, как непрерывное культивирование и интенсивный выпас скота, нарушили и уменьшили ПОУ, тем самым повлияв на глобальное потепление и изменение климата¹³².

¹³¹ Author links open overlay panelSanthosh KSeelanSoizikLaguetteGrant MCasadyGeorge ASeielstad. Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. Remote Sensing of Environment. Volume 88, Issues 1–2, 30 November 2003, Pages 157-169.

¹³² Kumar J. (2013) Gamification at Work: Designing Engaging Business Software. In: Marcus A. (eds) Design, User Experience, and Usability. Health, Learning, Playing, Cultural, and Cross-Cultural User Experience. DUXU 2013. Lecture Notes in Computer Science, vol 8013. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39241-2_58.

Таким образом, мониторинг плодородия почв сельскохозяйственных угодий позволяет вести постоянное наблюдение за химическими, физико-химическими, биологическими, физическими и водно-физическими свойствами почв, их загрязнением отходами производства и потребления, химическими и радиоактивными веществами, а также фитосанитарным состоянием почв и посевов, метеорологическими условиями и продуктивностью растений на каждом земельном участке.

При проведении комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения необходимо учитывать ряд положений.

Во-первых, комплексный мониторинг за состоянием плодородия почв должен осуществляться путем сплошного обследования с использованием современных средств инструментально-аналитической и вычислительной техники и дистанционных методов.

Во-вторых, при ограниченных объемах финансирования комплексный мониторинг плодородия почв по рекомендованному ОСТами набору показателей должен в первую очередь охватить регионы, на которые приходится основной объем производства сельскохозяйственной продукции, а мониторинг токсикологического и радиологического загрязнения почв может быть ограничен локальным обследованием почв и посевов в местах возможного загрязнения. В-третьих, по каждому показателю плодородия почв необходимо иметь региональные оптимальные величины (критерии) и диапазон их возможных колебаний.

Проведение мониторинга должно быть основано на современных научно-технических достижениях, среди которых материалы космической съемки и новые технологии работы с ними. Эффективная система мониторинга может быть создана при поддержке и финансировании государства и международных сообществ.

Мониторинг получил свое развитие с начала 1970-х годов прошлого столетия, что обусловлено двумя причинами:

- ухудшение экологической обстановки;
- развитие технического прогресса, способного обеспечить получение новых средств оперативного контроля за состоянием природной среды.

Согласно исследованиям, представленным авторами работы¹³³, цель мониторинга заключается в эффективном управлении состоянием окружающей среды в условиях динамично развивающихся обществ. Авторами также были выделены основные задачи мониторинга, а именно: слежение, контроль и прогноз состояния окружающей среды.

Как совершенно обоснованно отмечено в работе¹³⁴, критерием выбора объекта наблюдений должна быть высокая чувствительность его к любым изменениям природной среды. Для наблюдения желательно использовать стандартные методы: обязательна статистическая оценка точности получаемых наблюдений. Особое внимание при организации мониторинга рекомендуется уделять синхронности и сопоставимости проводимых наблюдений, а также разработке программного (математического), и технического обеспечения мониторинга. При этом исследования, проводимые в рамках, к примеру, экологического мониторинга, должны в качестве логического завершения обеспечить получение сведений, необходимых для составления прогнозов и разработки рекомендаций по регулированию природных и антропогенных процессов.

При проведении комплексного мониторинга плодородия почв сельскохозяйственных угодий необходимо иметь информацию о местоположении земельного участка (поля), ландшафтно-экологическую характеристику и эколого-генетическую характеристику почв.

Для этих целей специалисты рекомендуют использовать данные ряда источников^{135 136 137 138 139 140} и др., а также материалы Земельного кадастра и региональных научных учреждений.

¹³³ Панкова Е.И. Соловьев Д.А., Рухович Д.И., Савин И.Ю. Мониторинг засоления почв орошаемых территорий Центральной Азии с использованием данных дистанционного зондирования. В кн. «Земельные ресурсы и продовольственная безопасность Центральной Азии и Закавказья». Рим: ФАО, 2016. С. 309-369.

¹³⁴ Маргулис В.Ю. Количественная оценка засоленности почв для промывок засоленных земель // Почвы крупнейших ирригационно-мелиоративных систем в хлопкосеющей зоне: Науч.тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1975. С. 3-78.

¹³⁵ Булгаков Д.С. Агроэкологическая оценка пахотных почв. — М.: РАСХН, 2002. — 251 с.

¹³⁶ Егоров В.В., Фридланд В.М., Иванова Е.Н. и др. Классификация и диагностика почв СССР. — М.: Колос, 1977. — 224 с.

¹³⁷ Земельные ресурсы СССР. Ч.1. Природно-сельскохозяйственное районирование территорий, областей, краев, АССР и республик. — М.: ГИЗР, 1990. — 261 с.

¹³⁸ Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. — М.: Колос, 1996. — 366 с.

¹³⁹ Методическое пособие и нормативные материалы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия. / Под ред. А.Н. Каштанова, А.П. Щербакова, Г.Н. Черкасова. — Курск, Тверь: Чудо, 2001. — 260 с.

¹⁴⁰ Природно-сельскохозяйственное районирование земельного фонда СССР. Ред. колл.: В.В. Егоров (отв. ред.), Е.И. Гайдамака, Н.Н. Розов, Д.И. Шашко, В.П. Сотников. — М.: Колос, 1975. — 256 с.

Следует отметить, что при отсутствии соответствующей информации по отдельным показателям общих сведений о почвах обследуемых земельных участков их определяют государственные центры (ГЦАС) и станции (ГСАС) агрохимической службы, соответствующие зональные и региональные научные учреждения.

Что же касается информации о почвенном покрове, необходимой для объективной паспортизации каждого земельного участка и для последующей интерпретации результатов мониторинга, то ее получают по результатам корректировки почвенных карт¹⁴¹ или крупномасштабной почвенной съемки с отражением СПП.

В результате исследования выявлена необходимость моделирования окружающей среды, картирования и прогнозирования сельского хозяйства, для чего необходимы более качественные и рентабельные данные. Это требует поиска и разработки недорогих и эффективных методов и приложений для анализа почвы с целью выбора соответствующих систем управления и наилучшего землепользования.

Характеристики состояния почвы, ее плодородия могут быть снижены из-за значительных изменений в землепользовании, вызванных изменениями физических, биологических и химических свойств, в частности, SOC. Существуют различные основные факторы, вызывающие истощение – это и частая обработка почвы, и повышенная аэрация, более высокие температуры и т.п. Как показало исследование данной проблемы, для анализа изменений характеристик почвы использовалось множество разнообразных инструментов и методов. Такие популярные и эффективные на сегодня системы, как системы географической информации (ГИС) и дистанционного зондирования (ДЗ) постоянно совершенствуются и становятся все более полезными для управления сельскохозяйственными территориями, в том числе, для мониторинга состояния виноградных агроценозов.

Отметим, что LiDAR представляет собой метод измерения с использованием света в виде лазера для расчета дальности (различных расстояний) до Земли.

Данный метод позволяет измерять такие свойства почвы, как текстура, минералогия, влажность почвы, железо, засоленность и SOC. Воздушные,

¹⁴¹ Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользователей. — М.: Колос, 1973. — 95 с.

космические и оригинальные измерения с использованием активных, пассивных и оптических микроволновых приборов успешно использовались на территориях с редкой растительностью.

Исследование, посвященное использованию спутникового дистанционного зондирования для картографирования почв, продемонстрировало, как инфракрасные, тепловые, многоспектральные, а также активные и пассивные микроволновые космические датчики эффективны для определения границ почвенных единиц. Датчики также полезны при оценке основных свойств почвы, а также рисков для почвенных функций, возникающих в результате изменений влажности почвы, засоления, текстуры и SOC.

Что касается дистанционного зондирования, то его можно определить, как науку о получении информации о данных, полученных с помощью устройства, которое не касается какого-либо объекта, поля или явления в исследуемых областях.

Дистанционное зондирование также можно описать как физический объект, данные датчиков, извлеченную информацию и приложения. Дистанционное зондирование по сути представляет собой захват изображения, что может выполняться с использованием спутниковых и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). При этом следует отметить, что во многих аспектах датчики спутников и БПЛА имеют определенное сходство и различия, учитывающие их высоту и стабильность, которые вызывают различные свойства изображения.

Данные дистанционного зондирования могут быть получены в аналоговом или цифровом формате. Что касается данных в аналоговом формате, то они могут быть определены как бортовые или спутниковые платформы дистанционного зондирования, которые отображаются в бумажной форме. Использование и качество цифровых изображений значительно повысилось с развитием технологий, наличия дисплеев с высоким разрешением и программного обеспечения для обработки цифровых изображений. Современные методы извлечения информации и обнаружения цифровых изменений подразумевают обработку изображений

2.2 Методы обследования и картографирования почв

Ценность земли как основного средства сельскохозяйственного производства в конкретной хозяйственной инфраструктуре определяется ее плодородием — способностью удовлетворять потребность растений в

питательных веществах, воздухе, воде, тепле, биологической и физико-химической среде и обеспечивать урожай сельскохозяйственных культурных растений при хорошем качестве продукции.

Мировой и отечественный опыт свидетельствует, что высокая и устойчивая продуктивность земледелия возможна лишь при комплексном учете всех агрохимических и экологических факторов, необходимых для нормального роста и развития растений, формирования урожая и его качества, недопущения деградации земель (закисление, засоление, переуплотнение, эрозия, дефляция, истощение запасов органического вещества и доступных для растений питательных элементов, загрязнение вредными веществами и т.д.).

Федеральным законом РФ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» (1998)¹⁴² проведение почвенных, агрохимических, фитосанитарных и эколого-токсикологических обследований и мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения определено одним из основных направлений агрохимического обслуживания. Этим законом в области обеспечения плодородия почв определены в качестве важнейших научные исследования по разработке показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения с учетом природно-сельскохозяйственного районирования земель, а также методик оценки состояния земель сельскохозяйственного назначения и учета показателей состояния их плодородия.

Комплексная оценка плодородия почв необходима для стоимостной оценки сельскохозяйственных земель и оценки производственной деятельности хозяйств и подразделений сельскохозяйственных предприятий.

Поскольку планы природоохранных мероприятий, мероприятий по оптимальному использованию земельного фонда, контроль за состоянием и воспроизводством почвенного плодородия, их реализация могут быть осуществлены только на основе полной информации о состоянии окружающей среды и, особенно, почвенного покрова, необходимы соответствующие обследования, картографирование и мониторинг почв.

Современным и высокоэффективным методом картографирования почв является метод цифровой обработки и классификации данных многоспектрального космического сканирования (МКС).

¹⁴² Федеральный закон Российской Федерации «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» от 16 июля 1998 г. № 101-ФЗ.

Преимуществом применения МКС является то, что на базе аэрокосмических материалов удобно формировать тематические базы данных, поскольку атрибутивные характеристики, полученные со средств дистанционного зондирования, имеют территориальную привязку, и в них нет пропусков («белых пятен») в пределах изображаемого пространства (территории, акватории и др.). Кроме того, уже имеется множество технологий перевода подобных материалов в цифровую форму и их автоматизированного дешифрирования. А дешифрирование космоснимков, со своей стороны, дает возможность разработать адекватные математико-картографические модели, позволяющие с достаточной точностью количественно оценить, проанализировать тенденции изменения и осуществить прогноз состояния почв.

Технология оценки деградации агроландшафтов основывается на математическом и пространственном описании динамических процессов изменения их экологического состояния с составлением тематических карт существующих видов и уровней деградации, а также прогнозных карт дальнейшего развития агроландшафтов. Применение аэрокосмических методов в данной технологической цепочке позволяет проводить мониторинг, оценку и картографирование агроландшафтов, способствует сокращению затрат на проектно-изыскательские работы и ускорению их темпов, что в целом положительно отражается на результативности оценочных работ.

Геоинформационные базы данных, созданные на основе аэрокосмических снимков, можно поддерживать в актуальном состоянии, обеспечивая оперативное внесение текущих изменений, связанных с хозяйственной деятельностью. На базе ГИС целесообразно осуществлять мониторинг состояния почв и обновление карт, а также планирование и проектирование мероприятий, направленных на повышение плодородия агроценозов. Кроме того, ГИС дает возможность получать различную информацию через систему программных запросов для анализа, принятия решений и планирования работ по улучшению состояния почвы.

На сегодняшний день исследования процессов и масштабов деградации в агроландшафтах осуществляются на основе космоснимков высокого и сверхвысокого разрешения.

Аэрофотосъемка получила широкое применение в рамках технологий точного земледелия, в основу которых положен мелкомасштабный дифференцированный подход к системе «поле – посев» как к объекту

управления¹⁴³. Новые методы, основанные на анализе аэрофотоснимков, являются перспективными альтернативными методами оценки обеспеченности растений полезными веществами и необходимости применения агрохимикатов.

Такие методы обладают бесспорными преимуществами, которые заключаются в том, что снимки имеют высокую разрешающую способность, их получение и обработка не требуют существенных временных и материальных затрат, изображения могут быть получены в короткие сроки и в различные временные периоды, что обеспечивает наблюдения за посевами в динамике. При решении таких задач в основном используются два метода анализа изображений: анализ коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) или цветовых характеристик пикселей снимка и анализ изображения с помощью вегетационных индексов¹⁴⁴.

Первый подход заключается в классификации пикселей изображения по КСЯ (или цветовым характеристикам) при помощи двух возможных способов – неконтролируемой классификации и управляемой классификации, или классификации с обучением¹⁴⁵.

Второй подход основан на связи состояния растительности с ее отражательными способностями. Спектральная отражательная способность растений характеризуется существенными различиями в отражении излучения разных длин волн, что позволяет определять по изображениям типы растительности и их состояние (прогнозировать пространственное распределение данных).

В настоящее время существует более 150-ти вегетационных индексов. Они определяются эмпирическим путем на основе известных особенностей кривых спектральной отражательной способности растительности и почвы. При решении экологических и сельскохозяйственных задач наиболее широко используется вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), который для растительности принимает положительные значения. Значение данного индекса возрастает с увеличением зеленой фитомассы растений.

Развитие современных технологий способствует осуществлению мониторинга земель с использованием новых способов получения информации и

¹⁴³ Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture) / под общ. ред. Д. Шпаара, А. В. Захаренко, В. П. Якушева. СПб. – Пушкин, 2009. 397 с.

¹⁴⁴ Якушев В. П., Канаш Е. В., Конев А. В., Ковтюх С. Н., Лекомцев П. В., Матвеев Д. А., Петрушин А. Ф., Якушев В. В., Буре В. М., Осипов Ю. А., Русаков Д. В. Теоретические и методические основы выделения однородных технологических зон для дифференцированного применения средств химизации по оптическим характеристикам посева: практическое пособие. СПб.: АФИ, 2010. 60 с.

¹⁴⁵ Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М.: Бином, 2006. 752 с.

усовершенствованной техники. Так, на сегодняшний день весьма распространенными средствами мониторинга являются беспилотные летательные аппараты, позволяющие получать фотоматериалы с высоким разрешением. Одним из ведущих российских разработчиков таких комплексов и программного обеспечения к ним является группа компаний «Геоскан»¹⁴⁶.

Данный вид обследования почв включает в себя три основных этапа – подготовительный, полевой и камеральный. Подготовительный этап предполагает сбор и систематизацию информации о природных условиях, существующих картографических материалов и аналитических данных; разработку предварительного номенклатурного списка почв, исходя из предполагаемой структуры почвенного покрова и разработку предварительной карты-версии почвенного покрова по данным дистанционного зондирования, с использованием космических снимков высокого разрешения, либо данным аэрофотосъемки, особенно с применением беспилотного летающего аппарата (БПЛА) и др.

Сравнение стоимости услуг по производству топографической карты местности на основе результатов тахеометрической съемки и съемки с беспилотников (таблица 2.1) подтверждает экономическую эффективность использования беспилотных летательных аппаратов.

Таблица 2.1 – Стоимость услуг по созданию топографических карт

Масштаб	Полеты с привязкой снимков к МСК/WGS и др., руб. га–1	Ортофотоплан (форматы JPEG/TIFF)	Топографический план местности на основе аэрофотоснимков, руб./га	Топографический план местности по результатам тахеометрической съемки, руб. га–1
1:500 см	от 250 от 300	1 пикс. = 2,5 на местности	от 1000	25000
1:1000	от 200 от 250	1 пикс. = 6 см на местности	от 500	15000
1:2000	от 200 от 250	1 пикс. = 10 см на местности	от 400	10000
1:5000	от 200 от 250	1 пикс. = 15 см на местности	от 300	–

¹⁴⁶ . Петрушин А. Ф., Митрофанов Е. П. Опыт использования БПЛА для мониторинга состояния сельскохозяйственных земель. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2015.

Разница между стоимостью услуг (за вычетом себестоимости БПЛА) кратна 25–30, поэтому преимущества использования БПЛА вполне очевидны и являются основанием для их применения при государственном мониторинге земель. Беспилотные летательные аппараты рекомендуется использовать при мониторинге сельскохозяйственных земель и землеустроительном проектировании объекта хозяйствования на основе результатов, полученных при аэрофотосъемке. Высокая скорость и качество обработки результатов съемки с помощью прикладного программного обеспечения подтверждают его эффективность.

В последнее время, благодаря своему повсеместному использованию, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) играют важную роль в Интернете вещей (IoT) и умном городе, который представляет собой видение развития современных городов для интеграции информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и IoT в безопасные технологии для управления городскими активами. Однако есть много проблем, которые необходимо преодолеть перед развертыванием группировки БПЛА. Эти проблемы включают в себя не только технические вопросы, но и вопросы регулирования^{147 148}.

Ожидается, что БПЛА будут играть важную роль в будущих «умных» городах, например, поставляя товары и услуги, выступая в качестве мобильных точек доступа для широкополосного беспроводного доступа и поддерживая наблюдение и безопасность¹⁴⁹. Поэтому необходима надежная и безопасная среда для качества и стабильности работы БПЛА.

Для правительств также важно внедрить нормативные акты, обеспечивающие соблюдение стандартов безопасности и не позволяющие применять слабые меры кибербезопасности в реальных условиях. Федеральное авиационное управление (ФАУ) предсказало, что 30 000 беспилотников могут летать в небе США менее чем через 20 лет. Для исследования безопасности движения беспилотников и разработки интеллектуальной транспортной системы

¹⁴⁷ Lai Wei-Hsiang, Lai Ying-Chih, Lan Zao-Sin, Lin Hsiao-Hung, Ho Wei-Kuang. Development of an Internet of Things System Based on Unmanned Aerial Vehicles for the Application of Smart Security from Sky // Journal of Aeronautics Astronautics and Aviation, Jun 2018, v. 50, iss. 2, PP. 135–146. Doi 10.6125/JoAAA.201806_50(2).03.

¹⁴⁸ Grishin I.Y and Timirgaleeva R.R. “Air navigation: Optimisation control of means cueing of the air-traffic control system”, Conference of Open Innovation Association FRUCT, 2018, pp. 134–140.

¹⁴⁹ Guevenc, Ismail, Koohifar, Farshad, Singh, Simran, Sichitiu, Mihail, Matolak, David. Detection, Tracking, and Interdiction for Amateur Drones // IEEE Communications Magazine, Apr 2018, v. 56, iss. 4, PP. 75–81. Doi 10.1109/MCOM.2018.1700455.

нужны модели, которые описывают последовательно процессы движения беспилотников в потоке трафика¹⁵⁰.

Имеются исследования, направленные на обеспечение стабильных условий полета беспилотников в пределах ограниченного городского района с использованием модели ИКАО (Международная организация гражданской авиации), которая применяется для оценки устойчивости гражданских воздушных судов. Результаты исследования обобщаются следующим образом.

Во-первых, для того, чтобы беспилотники летали стабильно, горизонтальное безопасное расстояние разноса между одним БПЛА и другим должно быть не менее 1852 м.

Во-вторых, если предположить, что в пределах 1852 м от горизонтального пространства нет препятствий, два беспилотника могут летать на разных эшелонах. При наличии таких препятствий, как здания, невозможно обеспечить расстояние в 1852 м между БПЛА.

В-третьих, анализ чувствительности указывает на то, что интервал эшелонирования беспилотной авиации оказывает наибольшее влияние на целевой уровень безопасности¹⁵¹.

В работе¹⁵² китайских авторов утверждается, что для устранения задержек рейсов и рисков, связанных с прогнозируемым увеличением объема воздушного движения, необходимо увеличить пропускную способность систем управления воздушным движением. Это должно основываться на объективных измерениях сложности ситуации в воздушном пространстве. В статье предложен новый подход для измерения сложности ситуации с воздушным движением. Этот подход учитывает влияние как воздушного пространства, так и транспортного потока, и объективно оценивает сложность ситуации с воздушным движением.

В работе¹⁵³ авторов данного исследования были рассмотрены основные аспекты оптимизации управления многопозиционными радиолокационными комплексами на этапе радиолокационного сопровождения воздушных судов на трассах полета либо в зоне аэропорта. Показано, что предложенные методы оптимизации управления позволяют существенно повысить пропускную

¹⁵⁰ Kim, Hong-Bae. Identification of Key Elements for Stable Flight of Drones and Horizontal Space Compartment in Urban Area // Journal of Korea Planning Association, 2018, v. 53, iss. 7, PP. 39–48.

¹⁵¹ Там же

¹⁵² H. Wang, Z. Song, and R. Wen. Modeling Air Traffic Situation Complexity with a Dynamic Weighted Network Approach. Journal of Advanced Transportation, 2018, article number UNSP 5254289.

¹⁵³ Grishin I.Y and Timirgaleeva R.R. “Air navigation: Optimisation control of means cueing of the air-traffic control system”, Conference of Open Innovation Association FRUCT, 2018, pp. 134–140.

способность радиолокационных комплексов, что позволяет сократить их требуемое количество в системе УВД.

Аналогичный подход предложено применить и для обеспечения безопасности полетов БПЛА, поскольку заданное стандартами ИКАО расстояние между БПЛА невозможно обеспечить, то необходимо значительно точнее измерять их траекторные параметры движения для обеспечения управления такими аппаратами в автоматическом режиме.

В качестве источников информации о параметрах движения БПЛА могут использоваться радиолокационные станции, лазерные локаторы, станции пассивной локации, размещенные в разных точках города и объединенные в единый многопозиционный локационный комплекс^{154 155}, позволяющий, при использовании соответствующих алгоритмов обработки получаемой информации, оценить параметры движения с меньшими ошибками^{156 157} и обеспечить более плотный поток БЛА, обладающий свойством безопасности. Авторами предложен метод объединения информации от разнородных источников, позволяющий существенно снизить ошибки оценивания параметров движения БЛА.

Отметим некоторые особенности аэрофотосъемки с беспилотного летящего аппарата (БПЛА). Так, порядок получения оперативной информации о состоянии почв на участке исследования с помощью БПЛА включает следующие операции и процедуры:

- проведение аэрофотосъемки с помощью БПЛА (подготовка к взлёту аппарата и камеры, учёт ветра и положение солнца, облачности, влияния лесополос и антропогенных объектов на конечный результат съёмки);
- проведение аэрофотосъемки в период с 9.00 до 16.00;
- высота пролета БЛА над тестовыми полями колеблется в пределах от 80 до 100 м. Маршрут выглядит как несколько серий спиралей сначала снизу-вверх, затем сверху вниз над тестовыми полями;

¹⁵⁴ Теленик С.Ф., Гришин И.Ю. Анализ современных алгоритмов вторичной обработки информации в статистических измерительных информационных системах // Вестник Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля. 2009. № 1 (131). Ч.2. С.145–155.

¹⁵⁵ Гришин И.Ю. Оптимизация управления многопозиционным радиолокационным комплексом // Тезисы докладов 2–й Всесоюзной научно–технической конференции по распространению миллиметровых радиоволн. Туапсе, 1991. С. 48–49.

¹⁵⁶ Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник / Под ред. Я.Д. Ширмана. М.: ЗАО «Маквис», 1998. 828 с.

¹⁵⁷ Гришин И.Ю. Актуальные проблемы оптимизации управления в технических и экономических системах: Монография / И.Ю. Гришин. Ялта: РИО КГУ, 2010. 252 с.

– обработка полученных результатов – фотоснимков в зависимости от целей исследования: предварительная подготовка полученных снимков для анализа или подготовка ортофотоплана для решения вопросов точного земледелия;

– предварительная подготовка полученных снимков сводится к выравниванию снимков по уровням яркости, контрастности и ориентации самого снимка для лучшего восприятия и анализа;

– подготовка ортофотоплана сводится к объединению («сшивке») полученных аэрофотоснимков.

Также имеет свои особенности процедура создания карты-версии на основе космических снимков. К наиболее известным прямым дешифровочным признакам почв следует отнести сравнительно светлый тон изображения в большинстве спектральных диапазонов, а также сложноконтурный рисунок изображения. Надежным косвенным способом картографирования является фитоиндикация почв по данным многоспектрального космического сканирования (МКС) с использованием космических данных высокого и сверхвысокого пространственного разрешения (например, Spot, Landsat, Terra, Pleiades)¹⁵⁸.

При этом картографирование почв по данным МКС проводится по общепринятому алгоритму, включающему несколько этапов. На этапе первичной обработки изображения последовательно проводится систематическая, радиометрическая, атмосферная и геометрическая коррекция изображения, его радиометрическая калибровка, повышение контраста и пространственная фильтрация. На этапе общего статистического анализа изображения определяется оптимальное количество классов для последующего этапа – классификации изображения. Результатом цифровой обработки и классификации является гипотетическая карта, отражающая взаимное расположение ареалов, значимо отличающихся по оптическим характеристикам земной поверхности и привязанных в системе географических координат.

Что касается полевого (наземного) этапа обследования, то он проводится путем дешифрирования наземным способом карты-версии, полученной на основе методов дистанционного зондирования земной поверхности на основе космической либо аэрофотосъемки. Данный этап включает рекогносцировочное обследование для установления почвенно-ландшафтных связей и уточнения номенклатурного списка почв.

¹⁵⁸ Кравцова В.И. Космические методы исследования почв. Москва. 2005. 190 с.

Собственно, полевой этап проводится путем заложения почвенных шурфов согласно контуров карты-версии почвенного покрова. Первичное почвенное диагностирование почв производится по морфологическому строению профиля¹⁵⁹¹⁶⁰ с последующим уточнением генетического статуса почв по результатам анализа.

На камеральном этапе анализируются отобранные пробы почв, особое внимание уделяется определению содержания гумуса, гранулометрического состава, емкости поглощения и количества поглощенного натрия, катионно-анионного состава водной вытяжки. По результатам анализа уточняются названия почв, составляется окончательный номенклатурный список почв и создается почвенная карта с легендой к ней как основа последующих рекомендаций по мелиорации почв.

Предварительный камеральный этап включает в себя ряд процессов. Прежде всего это сбор имеющихся материалов, анализ их полноты и качества. Затем осуществляется географическая привязка объекта съемки, после чего составление по имеющимся материалам предварительной картографической основы и легенды к ней. Завершается процесс составлением предварительного списка почв, микроструктур почвенного покрова и планированием полевых работ.

При составлении крупномасштабных почвенных карт используется топографическая карта, аэрофотоснимки (космоснимки высокого разрешения), а также землеустроительные и лесоустроительные планы, почвенные картографические материалы и отчеты прошлых исследований, почвенно-мелиоративные, геологические и гидрогеологические фондовые материалы, почвенно-географическая региональная литература, другие источники. Аэрофотоматериалы, используемые при почвенной съемке, должны отвечать определенным требованиям к масштабу, виду съемки, сезону залета.

Говоря о мониторинге почв, необходимо учитывать и европейский опыт. Мониторинг почвенного покрова проводится в Европе начиная с 1990-х годов. Сегодня в европейских странах сформировалась атмосфера содействия мониторингу и считается, что без высоко качественной информационной системы о почвенном покрове создать комфортные условия жизни и чистую окружающую

¹⁵⁹ Полупан М.І., Соловей В.Б., Величко В.А. Класифікація ґрунтів України. Київ. 2005. 298 сс. (Классификация почв Украины)

¹⁶⁰ Полупан М.І., Соловей В.Б., Кисіль В.І., Величко В.А. Визначник еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України. Київ. 2005. 303 сс. (Определитель эколого-генетического статуса и плодородия почв Украины)

среду невозможно¹⁶¹. По результатам мониторинга Европейский Союз принял ряд почвоохранных хартий, рекомендаций, директив. Среди последних – документ о допустимых концентрациях тяжелых металлов, контроль за выбросами предприятий, о применении стоков и отходов производства на сельскохозяйственных угодьях и др. В 2006 году ЕС утвердил тематическую стратегию охраны почв и рекомендовал имплементировать ее в национальную политику всем странам - членам ЕС¹⁶².

В соответствии с европейской концепцией, мониторинг представляет собой пространственно-временную систему наблюдений за свойствами почв на постоянных площадках с использованием широкой программы индикаторов, с целью создания информационно-аналитических баз данных, районирования и выделения проблемных территорий, прогноза развития почв, планирования почвоохранных мероприятий, объективизации процесса предоставления субсидий фермерам, активизации работы со СМИ и в других целях.

Европейской концепцией также предусмотрены организационные принципы построения мониторинга, среди которых:

- независимость от влияния ведомств;
- простая двухзвенная структура, включающая региональную лабораторию и центральный информационно-аналитический центр, согласованная и утвержденная нормативная оцениваемая база;
- координация с наблюдениями за другими компонентами окружающей среды;
- финансирование из государственного бюджета;
- систематическое информирование о результатах структур управления и общественности.

2.3 Дистанционные методы и средства мониторинга и оценки плодородия почв

Сегодня в сельском хозяйстве имеется большое количество разнообразного картографического материала, представленного на бумажных носителях, использование которых является неэффективным, поскольку не в состоянии

¹⁶¹ Медведев В. В. Мониторинг почв Украины. Концепция. Предварительные результаты. Задачи. Харьков. 2002. 428 с.

¹⁶² Медведев В.В., Лактионова Т.Н. Анализ опыта Европейских стран в проведении мониторинга почвенного покрова (Обзор). Киев. 2012.

обеспечить своевременное и оперативное получение постоянно обновляемых исходных данных. Современные данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), получаемые при помощи установленных на космических аппаратах систем, обладают техническими характеристиками, позволяющими решать целый комплекс задач в области сельскохозяйственного производства — от картографирования границ полей до анализа степени используемости земель и изменяющегося во времени состояния сельскохозяйственных культур на больших площадях.

Дистанционные методы и средства применяются для оценки сельскохозяйственных земель с 30-х годов XX века, когда впервые были проведены опыты с использованием аэрофотоснимков при почвенных обследованиях на территории Ферганской долины¹⁶³. На сегодняшний день у же ни у кого нет сомнений в том, что дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) существенно сокращает затраты средств и времени на проведение достаточно трудоемких и долгих полевых исследований. Кроме того, ускоряется сам процесс и, что особенно важно, повышается достоверность и полнота получаемой информации за счет оптимизации сроков и условий съемки.

Как уже отмечалось, основное отличие ДЗЗ от других методов мониторинга и оценки сельскохозяйственных угодий, заключается в способности аэрокосмических съемок оценивать их состояние на значительных площадях, чего практически невозможно сделать при проведении наземных исследований. Данный метод получил наибольшую популярность в сельском хозяйстве с появлением такой технологии, как точное земледелие¹⁶⁴.

Отметим наиболее простые и доступные информационные космические ресурсы, среди которых: Сервис-ВЕГА, Land Viewer, Комбинация Agriculture, Комбинация Healthy Vegetation, Комбинация Color Infrared¹⁶⁵.

ВЕГА-PRO – информационный сервис для работы с обновляемыми в близком к реальному времени режиме архивами спутниковых данных, полученных при помощи спутниковых методов дистанционного зондирования. Использование сервиса обеспечивает решение широкого круга задач по оценке и мониторингу возобновляемых биологических ресурсов, относящихся к сфере интересов агропромышленного комплекса, лесного хозяйства и лесной

¹⁶³ Селяков Л. Я. Из опыта казахской съёмки // Геодезист. 1932. № 5. С. 18–26.

¹⁶⁴ Блохина С. Ю. Применение дистанционного зондирования в точном земледелии // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 5.

¹⁶⁵ Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / Под ред. Л. М. Державина, Д. С. Булгакова. М., 2003. 240 с.

промышленности. Сервис сформирован на базе Института космических исследований РАН (ИКИ РАН) и ассоциирован с работой Почвенного института им. В. В. Докучаева. Оценка состояния и прогноз изменений, происходящих в растениях в течение вегетационного периода на тестовом полигоне, осуществлены с использованием вегетационного индекса NDVI, рассчитанного на основе текущих космических снимков.

LandViewer – это служба обработки и анализа изображений в режиме реального времени. Данный сервис позволяет пользователю выполнять многоцелевые запросы, находить и использовать доступные изображения наблюдения Земли со спутников Sentinel 2 и Landsat 8. Изображения можно просматривать в разных комбинациях диапазонов или в спектральном индексе в реальном времени. Sentinel-2 запущен в 2015 г. Спутник оснащен оптико-электронным мультиспектральным датчиком для съемки с разрешением от 10 до 60 м в видимой, ближней инфракрасной и коротковолновой инфракрасной спектральных зонах. Также у спутника имеется 13 спектральных каналов, которые позволяют отслеживать динамику состояния растительности и минимизировать влияние съемки на качество изображений.

Комбинация Agriculture состоит из SWIR1, Red8, Blue спектральных диапазонов и подходит для анализа сельскохозяйственных культур. Данные снимков позволяют оценить динамику изменения вегетационного индекса с постепенным затуханием вегетации на залежных участках полигона.

Комбинация Healthy Vegetation позволяет отображать объекты в оттенках красного, коричневого, оранжевого и зеленого цветов. Почвы могут выглядеть зелеными или коричневыми, урбанизированные территории – белесыми, серыми и зелено-голубыми, по ярко-голубому цвету можно определить недавно вырубленные территории, а по красноватому – восстановление растительности или разреженную растительность. Добавление среднего инфракрасного канала позволяет достигнуть хорошей различимости возраста растительности.

Что касается комбинации Color Infrared (NIR, Red, Green), стандартная комбинация «искусственные цвета». Растительность отображается в оттенках красного цвета, а цвет почвы варьируется от темно- до светло-коричневого. Данная комбинация является очень популярной и используется главным образом для изучения агрокультур, исследования состояния растительного покрова, а также мониторинга дренажа и почвенной мозаики. В целом насыщенные оттенки красного являются индикаторами здоровой и (или) широколиственной

растительности, в то время как более светлые оттенки характеризуют травянистую/кустарниковую растительность или редколесья. Основными преимуществами вегетационных индексов являются простота их получения и возможность решения с их помощью широкого диапазона задач. NDVI позволяет выявлять зоны с угнетенной растительностью и принимать наиболее верные в долгосрочной перспективе решения, направленные на повышение урожайности.

Современные методы дистанционного зондирования позволяют существенно сократить затраты на комплексное обоснование разработки отдельных залежей сапропеля и их использование при восстановлении эффективного плодородия почв вторично осваиваемых сельскохозяйственных угодий¹⁶⁶.

Существует несколько глобальных научных программ наблюдения за Землей, предоставляющих открытый доступ к своим данным. Это европейская программа Copernicus со спутниками Sentinel 1-3, американские миссии Landsat с доступом к данным с аппаратов Landsat 1-8 и Terra со спутником EOS AM-1.

В таблице 2.2 представлены характеристики рассматриваемых открытых источников. Данные предоставляются в открытых форматах. Но не все форматы полностью свободны от патентов (JPEG2000). Работа с TIFF-растрами поддерживается всем современным ГИС программным обеспечением. В то время как форматы HDF и JPEG2000 менее распространены и для работы с ними может потребоваться конвертация, импорт во внутренний формат (ERDAS Imagine) или обновление библиотек нижнего уровня (GDAL в QGIS). Для конвертации и перепроецирования HDF-растров NASA предоставляет бесплатный инструмент с режимом работы через командную строку – HDFEOSToGISConversionTool (HEG). Все провайдеры предоставляют доступ к данным по протоколу HTTP, что обеспечивает простоту и удобство встраивания в информационные системы. Для доступа к некоторым источникам требуется бесплатная регистрация. Пространственное разрешение снимков с аппаратов Landsat может быть увеличено до 15 метров с помощью панхроматического слияния с PAN каналом. В некоторых приложениях, например, при расчете вегетационных индексов, панхроматическое слияние может быть использовано для увеличения количества пространственной информации¹⁶⁷.

¹⁶⁶ Иванов А. И., Лекомцев П. В. Методология мониторинга неоднородности состояния мелиорированных земель на основе развития физико-технической базы адаптивно-ландшафтного земледелия. СПб.: АФИ, 2013. 65 с.

¹⁶⁷ Johnson B. Effects of Pansharpening on Vegetation Indices. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 3 (2014). p. 507–522.

Таблица 2.2 – Характеристики открытых источников информации

Космический аппарат	Сенсор	Продукты	Пространственное разрешение	Временное разрешение	Временной охват	Формат	Провайдер
EOS AM-1	MODIS	MOD13Q1	250 м	16 дней	18.02.2000 – н. в.	hdf	LP DAAC Data Pool, Amazon Web Services (MOD09GQ)
		MOD09GQ		1 день	24.02.2000 – н. в.		
	ASTER	AST_L1T	15 м	16 дней	04.03.2000 – н. в.		
Landsat 7	ETM+	L1TP, L1GT, L1GS	30 (15) м	16 дней	01.04.1999 – н. в.	tif	Google Cloud Platform, Amazon Web Services
Landsat 8	OLI+ TIRS	L1TP, L1GT, L1GS	30 (15) м	16 дней	01.07.2013 – н. в.	tif	Google Cloud Platform, Amazon Web Services
Sentinel 2	MSI	L1C, L2A	10 м	5 дней	30.07.2015 – н. в.	jp2	Google Cloud Platform, Amazon Web Services, Copernicus Open Access Hub (API)

Для описания степени обработки данных ДЗЗ существует общепринятая модель, описанная в NASA во время работы над программой Earth Observing System (EOS)¹⁶⁸. В этой модели все процедуры радиометрической и геометрической коррекции распределяются по нескольким уровням, от необработанных «сырых» данных с сенсора на уровне 0, до скорректированных и

¹⁶⁸ Parkinson C. L., Ward A., King (Eds.) M. D. Earth Science Reference Handbook – A Guide to NASA’s Earth Science Program and Earth Observing Satellite Missions, National Aeronautics and Space Administration Washington, D. C. (2006).

ортотрансформированных снимков в заданной проекции на уровнях 3–4. На практике различные поставщики данных часто отходят от этой модели и используют свои уровни.

Данные ДЗЗ из различных источников должны быть приведены к единому высокому уровню обработки. Для этого может потребоваться пересчёт значений снимков к альбедо земной поверхности¹⁶⁹ с выполнением атмосферной коррекции, определение областей, покрытых облаками и поиск теней от них. В таблице 2.3 показана степень обработки данных каждого рассматриваемого источника. Данные с аппаратов Landsat 7 и 8 предоставляются в виде цифровых значений сенсора (Digital Number, DN) с выполненной радиометрической коррекцией (устранение искажений сенсора на основе регулярных рекалибровок) и геометрической коррекцией (устранение искажений перспективы и неровностей рельефа на основе наземных станций GCP и цифровой модели рельефа DEM)¹⁷⁰.

Таблица 2.3 – Степень обработки исходных данных

Сенсор	Продукт	Тип данных	Атмосферная коррекция	Маска облачности	Маска тени облаков
MODIS	MOD13Q1	VI	не требуется	есть в VI Quality канале	
	MOD09GQ	SR		есть в QC канале	
ETM+	L1TP, L1GT, L1GS	DN	DOS	есть в QA канале	FMask
OLI + TIRS			FLAASH 6S		
MSI	L1C, L2A	TOA	DOS FLAASH 6S S2AC	в L1C есть маска облаков Scene Classification Map (SCM) Quality Indicators (QI)	
ASTER	AST_L1T	At-sensor radiance	DOS FLAASH 6S	ACCAA NACMA	NACMA

Данные второго уровня в виде альбедо земной поверхности с коррекцией на угол солнца и влияние атмосферы доступны только по запросу, но могут быть рассчитаны по формулам на основе метаданных из снимков (Ibid.) и с применением любого подходящего алгоритма атмосферной коррекции.

¹⁶⁹ Погосян Х. П. Воздушная оболочка Земли. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1962. 294 с.

¹⁷⁰ Young N. E., Anderson R. S., Chignell S. M., Vorster A. G., Lawrence R., Evangelista P. H. A survival guide to Landsat preprocessing. Ecology. 98 4 (2017). p. 920–932.

Для данных ASTER уровня «L1T» требуется конвертация к отражающей способности атмосферы (предоставляется скрипт на языках Python или R)¹⁷¹ и выполнение атмосферной коррекции. Существует несколько «простых» способов коррекции влияния атмосферы, не требующих дополнительной информации о состоянии атмосферы в момент съёмки. Например, методы эмпирической линии¹⁷² и различные варианты вычитания темной области¹⁷³.

После коррекции до отражающей способностью поверхности данные с различных сенсоров можно рассматривать как схожие¹⁷⁴, но остаются различия, вызванные отличиями диапазонов каналов съёмочных систем. В задачах расчёта вегетационных индексов есть методы коррекции значений расчётов различных съёмочных систем¹⁷⁵. Данные спутников Sentinel-2 предоставляются с уровнем обработки «L1C» в виде альбедо на верхней границе атмосферы с выполненной радиометрической и геометрической коррекцией. Обработка уровня «L2A» возможна с помощью бесплатного ПО SEN2COR. Утилита позволяет выполнить атмосферную коррекцию на основе модели переноса излучения LIBRADTRAN, получить маски различных типов облаков и каналы оценки качества. Продукты с сенсора MODIS имеют высокий уровень обработки и предоставляются сразу в виде отражательной способности поверхности с коррекцией влияния атмосферы, дополнительная обработка не требуется¹⁷⁶. Следующий этап подготовки данных — исключение областей, покрытых облаками. К снимкам с аппаратов Landsat 7 и Landsat 8 в метаданных приложен специальный канал оценки качества с маской облаков. Для данных Sentinel-2 маска облаков автоматически создаётся при обработке в SEN2COR. С данным от сенсора ASTER маска облаков не предоставляется, но существует несколько алгоритмов её создания: «классический» алгоритм АССАА¹⁷⁷, и его улучшенная версия НАСМА¹⁷⁸.

¹⁷¹ Krehbiel, C. (2017). How to Convert ASTER L1T Radiance to Top of Atmosphere Reflectance.

https://lpdaac.usgs.gov/user_resources/e_learning/how_convert_aster_l1t_radiance_top_atmosphere_reflectance.

¹⁷² Karpouzli E., Malthus T. The empirical line method for the atmospheric correction of IKONOS imagery, *International Journal of Remote Sensing*. 24:5 (2010). p. 1143–1150.

¹⁷³ Chavez, Jr, Pat. Image-Based Atmospheric Corrections – Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 62 (1996). p. 1025–1036.

¹⁷⁴ Stevena M. D., Malthusb T. J., Baretc F., Xud H., Choppinge M. J. (2003). Intercalibration of vegetation indices from different sensor systems.

¹⁷⁵ Yao X., Yao X., Jia W., Tian Y., Ni J., Cao W., Zhu Y. Comparison and Intercalibration of Vegetation Indices from Different Sensors for Monitoring Above-Ground Plant Nitrogen Uptake in Winter Wheat. *Sensors*. 13 (2013). pp. 3109–3130.

¹⁷⁶ Vermote, E., Kotchenova, S. Y., Ray, J. P. MODIS Surface Reflectance User's Guide. Version 1. p. 1–40. (2008).

¹⁷⁷ Lang, H. and Welch, R. Algorithm Theoretical Basis Document for ASTER Digital Elevation Models (Standard Product AST14). Version 3. ATDB-AST-08, NASA Jet Propulsion Laboratory. Pasadena (1999).

¹⁷⁸ Hulley, G. A new methodology for cloud detection and classification with ASTER data. *Geophysical research letters*. 35(1) (2008). L16812. p. 1–6.

Продукт MOD09GQ содержит маску облачности в специальном канале, данные MOD13Q1 содержат значение индекса NDVI на основе наблюдений за 16 дней и не нуждаются в коррекциях.

Организация спутникового мониторинга сельскохозяйственных угодий сопряжена с получением вегетационных индексов, характеризующих развитие растений с учетом локальных особенностей контура пашни. Использование открытых источников мультиспектральных спутниковых данных позволяет обеспечивать системы точного земледелия актуальными данными ДЗЗ с пространственным разрешением до 10 метров и частотой в 1–16 дней. Открытые источники снижают стоимость поддержания систем спутникового мониторинга, но увеличивают сложность разработки. Итоговое решение о выборе типа источников следует принимать индивидуально для каждого проекта. Для удобства конечных товаропроизводителей, в продуктах КБ Панорама: GIS WebServer AGRO, «Панорама АГРО», «АРМ агронома» реализованы функции спутникового мониторинга за счет получения геопривязанных значений вегетационных индексов, карт зонирования и дифференцированного внесения удобрений с помощью внешнего сервиса Geosys.

В настоящее время ведутся исследования по созданию и усовершенствованию новых технологий земледелия, основанные на совместном использовании данных геоинформационных систем (ГИС), дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Это вызвано тем, что такой комплексный подход позволяет разрабатывать и применять на практике методы объективного мониторинга состояния агроценозов.

Практически все исследования процессов цифрового мониторинга агроценозов основаны на применении физико-математических моделей, а использование в LSM спутниковых данных (СД) различного пространственного и временного разрешения существенно повышает качество моделирования, позволяя проводить расчеты режимов с достаточно высокой точностью.

С использованием LSM и данных ДЗЗ на территориях, занятых агроценозами, проводится оценка доступных влагозапасов в корнеобитаемом слое почвы и составляющих эвапотранспирации, распределений влагозапасов и температуры в почвенном профиле, вертикальных потоков скрытого и явного тепла с ПП, температуры ПП (LST) трех типов – поверхности почвы, растительного покрова, а также радиационной температуры ПП для любых

интервалов времени в течение сезона вегетации^{179 180}. Основу LSM составляют уравнения влагопереноса и теплопроводности для деятельного слоя почвы с граничными условиями в виде потоков влаги и тепла на его верхней и нижней границах и на поверхности растительного покрова. Параметрами LSM являются характеристики почв и растительности, а входными переменными – метеорологические характеристики, в число которых входят температура, влажность воздуха и атмосферное давление, осадки, общая облачность, скорость ветра, суммарная радиация¹⁸¹.

Наиболее часто используемые в LSM данные поступают с радиометров AVHRR (ИСЗ NOAA), MODIS (ИСЗ EOS Terra и Aqua), SEVIRI (геостационарные ИСЗ Meteosat-9 и 10) и МСУ-МР (ИСЗ Метеор-М № 2). Они имеют, с одной стороны, необходимую высокую повторяемость, а, с другой стороны, – среднее или низкое разрешение, не всегда подходящее для практического использования.

¹⁷⁹ Kuchment L. S., Startseva Z. P. Sensitivity of evapotranspiration and soil moisture in wheat fields to changes in climate and direct effects of carbon dioxide // Hydrol. Sci. J. 2001. Vol. 36. № 6. pp. 631–643.

¹⁸⁰ Музылев Е. Л., Успенский А. Б., Старцева З. П., Волкова Е. В. Моделирование гидрологического цикла речных водосборов с использованием синхронной спутниковой информации высокого разрешения // Метеорология и гидрология. 2002. № 5. С. 68–82.

¹⁸¹ Музылев Е. Л., Старцева З. П., Успенский А. Б., Волкова Е. В., Василенко Е. В., Кухарский А. В., Зейлигер А. М., Ермолаева О. С. Использование данных дистанционного зондирования для моделирования водного и теплового режимов сельских территорий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 108–136.

РАЗВИТИЕ ОСНОВНЫХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ

3.1 Информационная система мониторинга состояния сельскохозяйственной территории

3.2 Дистанционное диагностирование плодородия виноградных агроценозов

3.3 Поисковая система для решения задач управления на основе генетического алгоритма с оператором мутации k -средних

3.1 Информационная система мониторинга состояния сельскохозяйственной территории

Одной из ключевых проблем регионального управления является обеспечение устойчивого развития региона, под которым в рамках данного исследования будем понимать постоянный рост социально-экономического и научно-технического потенциала на базе создания оптимальной территориально-отраслевой структуры, обеспечивающей сбалансированное использование климатических условий, сохранение биологического равновесия и окружающей среды. Это в первую очередь касается сельскохозяйственных территорий, развитие которых направлено на обеспечение продовольственной безопасности страны. Обмен оперативной и достоверной информацией в области управления устойчивым развитием данных территорий явно недостаточен и требует поиска новых эффективных механизмов сотрудничества и координации субъектов хозяйствования в данной сфере.

Обеспечение и сохранение продовольственной безопасности страны происходит за счет устойчивого развития сельскохозяйственной отрасли наиболее крупных и значимых регионов России. Отсюда могут быть сформулированы и важнейшие задачи устойчивого развития сельскохозяйственного региона: постоянный мониторинг состояния земель региона в широком смысле (состояние посевов, контроль влажности, температуры почвы, экологический мониторинг); анализ и прогноз развития изменений состояния почвы; разработка и реализация комплекса мероприятий, направленных на улучшение состояния земель и их плодородия.

Применение данных, полученных на основе дистанционного зондирования поверхности Земли из Космоса, как научно-практическое направление возникло достаточно давно – свыше пятидесяти лет назад, и обусловлено значительными масштабами территории страны и отдельных регионов. Большие площади, занятые под сельское хозяйство, затрудняют осуществление мониторинга сельскохозяйственных угодий традиционными средствами. Поэтому наиболее перспективными методами мониторинга в настоящее время являются методы космического мониторинга (дистанционного зондирования)¹⁸².

Учитывая вышеизложенное, отметим, что на сегодняшний день исследование направлений устойчивого развития сельскохозяйственных территорий регионов Юга России на базе внедрения геоинформационных технологий, интеграции их результатов в практику ресурсо-ориентированного управления развитием регионов является нерешенной проблемой, что определяет актуальность данного исследования и его цель.

Важным вопросом является обоснование необходимости управления устойчивым развитием сельскохозяйственного региона на основе применения комплексного информационно-навигационного обеспечения и мониторинга территорий.

В ходе исследования применялись как традиционные общенаучные и экономические методы, так и естественнонаучные (математические) методы, методы кибернетических систем управления, а также моделирования и информатики. Используются методы системного анализа и управления, экономико-экологической безопасности, методы анализа и синтеза, статистического и корреляционного анализа, табличные и графические методы для отображения результатов анализа, методы факторного анализа. Проблема обеспечения устойчивого развития сельскохозяйственной отрасли региона решается на основе конвергенции космических и информационных технологий, технологий управления крупными субъектами хозяйствования, а также методов теории систем и системного анализа.

¹⁸² Гришин И.Ю., Тимиргалеева Р.Р. Разработка методологии обеспечения эколого-экономической безопасности туристско-рекреационных регионов юга России на основе результатов космического мониторинга // Материалы III всероссийской научной конференции «Экология и космос» имени академика К.Я. Кондратьева (Санкт-Петербург, 08 февраля 2017-09 февраля 2018 г.). – 2017, С. 170–174.

Исследование опирается на отечественную базовую геоплатформу КОСМОС^{183 184}, на основе которой создаются модули системы мониторинга природопользования и экологии информационно-аналитической системы ситуационных центров муниципального и регионального уровня.

Сельское хозяйство является наиболее перспективной сферой применения данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в том числе в целях повышения устойчивости территорий к аграрной эксплуатации. Сельскохозяйственные культуры хорошо проявляются на космических снимках, ничем не скрыты, одноярусны, хорошо дешифрируются как по текстуре, так и по спектральным характеристикам¹⁸⁵.

Детальный анализ ряда источников показал, что проблемы космического мониторинга территорий на основе применения ГИС получили развитие в работах российских и зарубежных специалистов. Так, в работах^{186 187}, рассмотрены вопросы применения ДЗЗ для прогнозирования и минимизации ущерба от засухи. Оценена применимость мониторинга засухи на основе спутниковых снимков, подтверждено, что стандартный индекс осадков можно косвенно применять для мониторинга сельскохозяйственных или гидрологических засух путем определения временной корреляции между ним и индексов засухи на основе информации со спутников. Вопросам контроля состояния водоемов, используемых в сельскохозяйственной деятельности, посвящена работа¹⁸⁸, где рассмотрены методы дистанционного зондирования, применяемые для измерения качественных параметров водоемов. В работе исследуются подходы и датчики, применяемые для оценки и количественной оценки одиннадцати параметров качества воды.

¹⁸³ Grishin I., Timirgaleeva R. The application of artificial intelligence methods for forming industry management systems // CEUR Workshop Proceedings. 1. Сер. "Selected Papers of the 1st International Scientific Conference Convergent Cognitive Information Technologies, Convergent 2016. – 2016. P. 115-120.

¹⁸⁴ Безбородов В.Г. Состояние и перспективы использования результатов космической деятельности в интересах модернизации экономики Российской Федерации и развития её регионов / В.Г. Безбородов, М.А. Лукьященко, В.А. Заичко, М.П. Симонов, А.Н. Жиганов. – М.: Энцитех, 2014. – 320 с.

¹⁸⁵ Коменданова Т.М., Имескенова Э.Г., Абгалдаев Ю.В. Применение методов дистанционного зондирования для мониторинга почвенно-растительного покрова Кабанского района республики Бурятия // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.П. Филиппова. – 2015. №3(40). – С. 63-68.

¹⁸⁶ Park S.Y., Sur C., Kim J.S., Lee J.H. Evaluation of multi-sensor satellite data for monitoring different drought impacts // Stochastic environmental research and risk assessment. – 2017. Vol. 32(9). – P. 2551–2563.

¹⁸⁷ Przewdziecki K., Zawadzki J., Miatkowski Z. Use of the temperature-vegetation dryness index for remote sensing grassland moisture conditions in the vicinity of a lignite open-cast mine // Environmental Earth Sciences. – 2018. Vol. 77 (17). AR 623.

¹⁸⁸ Gholizadeh M.H., Melesse A.M., Reddi, L. A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques // Sensors. – 2018. Vol. 16(8).

Важные вопросы определения количества питательных веществ в почвах рассмотрены авторами из Китая в работе¹⁸⁹. В результате сравнительного анализа данных, полученных прямым исследованием почвы и дистанционного зондирования, сделан вывод, что применение гиперспектральных изображений с использованием разработанной модели оказалось эффективным методом картирования и мониторинга питательных веществ почв в региональном масштабе. В работе отечественных авторов¹⁹⁰ рассмотрены вопросы идентификации и распознавания сельскохозяйственных культур. Предложен метод сегментации данных временных рядов дистанционного зондирования, который использует многовременную информацию для определения границ объектов. Извлекая однородные объекты с аналогичным поведением во времени, метод анализирует большие объемы многовременных входных данных и создает последовательный сегмент сегментации для больших территорий.

В Институте космических исследований РАН предлагаемый метод в настоящее время применяется для автоматизированного анализа спутниковых снимков в режиме онлайн для распознавания и картирования культур на крупных территориях и оценки землепользования. Этот метод успешно справляется с пробелами в данных временного ряда дистанционного зондирования и хорошо работает, даже если входные изображения зашумлены. Благодаря своей способности отображать динамически однородные поверхности с частично отсутствующими данными, метод дает возможность для их восстановления.

Последние годы в России наблюдается значительный спрос на современные космические продукты и услуги, что обусловлено рядом факторов: только космические системы способны обеспечивать непрерывное функционирование глобальных информационных полей – космического мониторинга, навигации, передачи данных и управления, а также ряда других. Потенциальный вклад космических систем в развитие информационной инфраструктуры страны показан на рис.3.1.

¹⁸⁹ Song Y., Zhao X., Li B., Hu Y., Cui X. Predicting Spatial Variations in Soil Nutrients with Hyperspectral Remote Sensing at Regional Scale // Sensors. – 2018. Vol. 18(9).

¹⁹⁰ Plotnikov D. E., Kolbudaev P. A., Bartalev S. A. Identification of dynamically homogeneous areas with time series segmentation of remote sensing data // Computer optics. – 2018. Vol. 42(3). – P. 447–456.

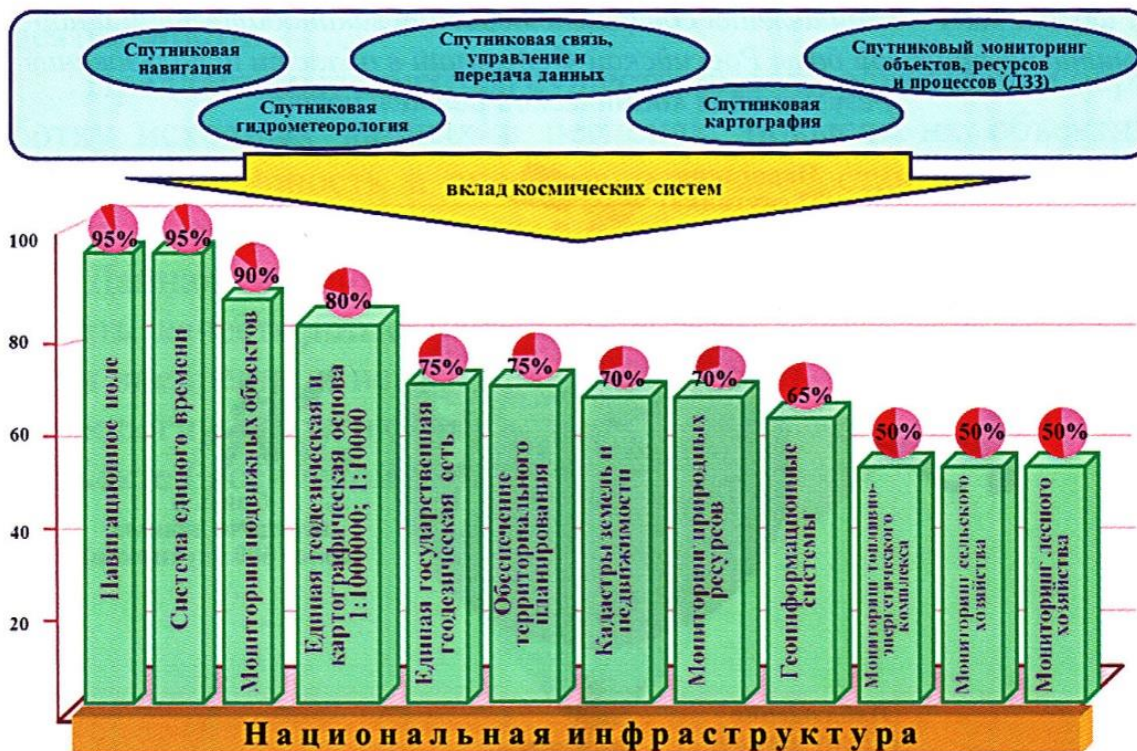


Рис. 3.1. Вклад космических систем в развитие информационной инфраструктуры страны

Проведенный анализ показал, что субъектами Российской Федерации наиболее востребованы технологии формирования, поддержания и использования совокупного регионального информационного ресурса (баз данных и знаний), обладающего следующими свойствами:

- интеграция с электронными картами и данными системы ГЛОНАСС;
- структурирование по отраслям экономики, территориям и другим объектам управления;
- обновление на основе космических снимков и других систем дистанционного зондирования;
- предоставление любым конечным пользователям – как населению, так и руководителям различного уровня в форме наглядных, доступных и регламентированных услуг.

Результаты многолетней мировой экономической статистики показывают, что применение космических продуктов и услуг в 2-3 раза снижает затраты на такие виды деятельности, как геодезические работы, мониторинг объектов, ресурсов, явлений, картография. Возможности космических технологий таковы, что при комплексном использовании они позволяют создать

многопараметрические дистанционные системы мониторинга, получающие информацию на сколь угодно большом расстоянии от самого объекта, что обеспечивает наилучшие условия для организации экономичного, объективного и надежного стратегического и оперативного контроля. В настоящее время уже создано отечественное программное обеспечение (платформа КОСМОС), которое позволяет разрабатывать системы мониторинга и управления, удовлетворяющие указанным выше требованиям.

Базовая геоинформационная платформа должна иметь структуру, включающую в себя следующие основные компоненты:

- общесистемное программное обеспечение (ПО), включающее в себя редакторы растровой и векторной графики, графический интерфейс пользователя для простого доступа к инструментам системы, системы управления базами данных и аналитическое ПО;

- аппаратное обеспечение (ЭВМ, ЦОДы, телекоммуникационное оборудование, системы хранения данных и т.п.);

- данные (пространственные данные): позиционные (географические данные) – местоположение объекта на поверхности Земли; непозиционные (атрибутивные) – описательные, текстовые, фото, видео;

- технологии.

Рассмотрим технологии, необходимые для комплексного информационно-навигационного обеспечения и мониторинга крупных сельскохозяйственных территорий на примере комплекса аппаратно-программных средств целевой системы мониторинга сельского хозяйства (ЦСМ СХ).

Основные задачи, решаемые ЦСМ СХ:

- мониторинг состояния земель сельскохозяйственного назначения (характер землепользования, состояние растительного покрова сельскохозяйственных угодий и их несанкционированного или нецелевого использования);

- оценка прогнозируемого ущерба от воздействия негативных природных и антропогенных факторов;

- контроль и оценка проведения агротехнических мероприятий (мониторинг отдельных этапов агротехнического цикла, мониторинг посевных и уборочных работ);

- инвентаризация земель сельскохозяйственного назначения, регламентированных требованиями по кадастровому учету;

– прогнозная оценка влияния климатических и погодных условий на основные показатели эффективности деятельности агропромышленного комплекса.

В состав ЦСМ СХ входит и модуль, предназначенный для повышения эффективности получения оперативной и достоверной информации относительно посевов наркосодержащих растений, подготовки информации в агрегированном непротиворечивом и наглядном виде, комплексной обработки данных ДЗЗ, результатов наземных наблюдений и измерений, поддержки принятия управленческих решений администрацией субъекта России.

Специальное программное обеспечение данного модуля включает следующие блоки:

– блок обнаружения (обработка данных ДЗЗ), включающий модули предварительных вычислений параметров объекта и тематического дешифрования космической информации;

– блок ГИС-технологии, состоящий из модуля отображения и анализа результатов системы обнаружения, а также модуля представления результатов работы в соответствующие профильные органы.

Результатом рассмотренной ГИС-технологии является тематическая карта, имеющая слой незаконной растительности, слой маскировочной растительности и атрибутивную информацию.

Результатом рассмотренной ГИС-технологии является тематическая карта, имеющая слой незаконной растительности, слой маскировочной растительности и атрибутивную информацию.

В составе ЦСМ СХ целесообразно иметь набор АРМов, ориентированных на работу специалистов различного профиля, например:

– АРМ оператора сельскохозяйственного управления (департамента, регионального министерства), обеспечивающее ввод, хранение и редактирование геометрической и атрибутивной информации по сельскохозяйственным земельным участкам, комплексный анализ и планирование сельскохозяйственных работ и трудовых ресурсов на основе ГИС-, Web-технологий и данных ДЗЗ;

– АРМ оператора агронома, предназначенный для распределенной работы операторов (агрономов) с информацией базы пространственных данных на основе ГИС-технологий, и применения данных ДЗЗ.

Растровые данные ДЗЗ представляются в формате TIFF с файлом привязки (*.tfw), а также GeoTiff.

Предлагаемая структура ЦСМ СХ позволяет получить оперативную и достоверную информацию относительно состояния сельскохозяйственного региона, а также подготовить информацию для принятия эффективных управленческих решений в отношении выбора стратегии устойчивого развития территории.

Современные экономические условия хозяйствования требуют расширения исследований по разработке эффективных методов информационного обеспечения, направленных, прежде всего, на увеличение масштабов работ, снижение затрат и сокращение времени выдачи рекомендаций по применению агротехнологических приемов. С развитием научно-технического прогресса методы выявления и анализа неоднородности почв постоянно совершенствуются. Перспективными с практической точки зрения являются методы, основанные на использовании сенсорных технологий и дистанционных средств мониторинга, обеспечивающих снижение затрат на проведение анализа и повышение производительности и скорости обработки данных мониторинга.

Применение датчиков позволяет осуществлять получение данных с существенно меньшими временными и материальными затратами, чем при использовании традиционных методов, когда отбираемые образцы почвы и растений анализируются в лабораторных условиях^{191 192}.

Эффективное решение задачи информационного обеспечения точного земледелия возможно при использовании методов дистанционного зондирования (ДЗ) земной поверхности, обладающих неоспоримыми преимуществами перед контактными способами получения информации о характеристиках исследуемого растительного сообщества¹⁹³.

Для получения ДДЗ применяются различные авиационные и космические средства. При решении экологических и сельскохозяйственных задач в качестве основных средств получения ДДЗ используются авиационные и космические аппараты. В последние годы для решения задач, связанных с прогнозом пространственного распределения экологических данных, широко применяются

¹⁹¹ Дринча В. М. Перспективные направления агроинженерных исследований для непрерывного устойчивого ведения сельского хозяйства. М.: ВИМ, 2004. 80 с.

¹⁹² Якушев В. П., Якушев В. В. Математические модели и методы реализации информационно-технологических приемов в точном земледелии // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2008. № 4. С. 56–60.

¹⁹³ Якушев В. П. На пути к точному земледелию. СПб.: ПИЯФ РАН, 2002. 458 с.

спутниковые снимки. Однако данный источник информации имеет ряд недостатков, основными из которых являются следующие:

- высокая стоимость снимков;
- ограничение возможности получения снимков в короткие сроки и с необходимой периодичностью;
- необходимость расшифровки снимков;
- погрешности, вызванные погодными условиями, облачностью и дымкой.

В связи с этим перспективной альтернативой такому методу является использование радиоуправляемых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), основным преимуществом которых является высокая разрешающая способность при простоте съемочной аппаратуры, что обеспечивает оптимальное соотношение между качеством данных и их стоимостью.

Информация о состоянии почвы имеет важное значение для оценки ее плодородия. В этом аспекте необходимым является мониторинг изменения отдельных показателей в краткосрочной и долгосрочной перспективах. Кроме того, необходима информация об изменениях показателей агроэкологического состояния почв. Важное значение при этом играет оперативность получения и возможность актуализации дистанционно идентифицированных данных. При проведении мониторинговых исследований почв достаточно эффективными являются методы дистанционного зондирования земли (ДЗЗ). Для получения объективной и достоверной информации о состоянии почвы необходимым является усовершенствование и разработка новых эффективных и недорогих методов дистанционного диагностирования почвы.

Для эффективного и полноценного проведения исследований состояния анализа плодородия виноградных агроценозов Крыма считаем необходимым опираться на современные научно-технические методы. Сегодня не в полной мере изучены подходы относительно количества и распределения идентификационных точек отбора образцов почвы, в зависимости от структуры почвенного покрытия и типа наиболее распространенных почв. Это особенно актуально в контексте перспективы дальнейшего проведения интерполяции и экстраполяции. Кроме того, актуальность проведенных исследований определяется в необходимости разработки технологий, объединяющих применение геоинформационных технологий и методов дистанционного зондирования качественных характеристик почв. При этом важное значение имеет разработка алгоритма дистанционной идентификации качественных параметров почвы, который

должен включать такие важные составляющие, как установление зависимостей, их оценка и построение картосхем. Для реализации данного процесса необходимо разрабатывать функциональное программное обеспечение. Хорошие результаты могут показать методы искусственного интеллекта, многослойных нейронных сетей.

Вопросы применения многоспектральных спутниковых снимков с целью определения величины характеристик почв занимались многие ученые, которые в своих исследованиях диагностировали их различные качественные признаки. Среди показателей свойств почв идентифицировались следующие из них: коэффициент ксероморфности, содержание глины, гумуса, степень эродированности, гранулометрическое состояние, засоленность и др.

По мнению ряда авторов, почва, как объект моделирования представляет собой сложную многофункциональную, динамичную, комплексную систему, которая требует изучения в масштабах, позволяющих видеть допустимые границы определения показателей почвы, которая диагностируется, с помощью средств ДЗЗ. Ряд авторов отмечают ограниченность использования аэрокосмических методов в связи с погодными условиями и экранированием почвы растительным покровом. При этом авторы обращают внимание на необходимость верификации полученных данных в результате проведения космического дистанционного зондирования с данными, полученными с помощью традиционных методов.

Проведенные исследования имеют цель – определение методологических подходов к проведению дистанционной идентификации показателей свойств виноградных агроценозов Крыма. Предполагалось в условиях пестрого грунтового покрытия с признаками гидроморфности и сложного экранирования земной поверхности растительностью, с помощью спектрзональных снимков Landsat 7 ETM+ диагностировать величины показателей урожайности почв.

Во время проведения исследований ставились такие задачи, как: разработка оптимальных подходов к диагностированию отдельных показателей плодородия почв с признаками гидроморфности и высокой степенью пестроты грунтовых ареалов Крыма; разработка алгоритма дистанционного диагностирования характеристик почв на основе ГИС-технологий, что предполагает использование материалов обследований почв предыдущих лет и направленный на минимизацию количества точек отбора образцов; установление характера взаимосвязи между ρ альбедо и наиболее широкими вегетационными индексов на

основе многоспектральных изображений с одной стороны, и показателями свойств почв – с другой, вне границ вегетационного сезона растений. На исследуемой территории с наиболее распространенными почвами на разных участках были заложены точки и проведена их точная привязка (таблицы 3.1).

Таблица 3.1 – Данные геодезической привязки точек

№ образца	Хозяйство, участок	Точка координат	Дата отбора образца	Тип почв (согласно почвенной карте)	Механический состав	Описание
1	г. Ялта, пгт. Отрадное, уч.№5 "Прибрежный"	44.504749, 34.210731	22.06.2020	коричневые горные некарбонатные	Тяжелосуглинистые; щебнистые	Рельеф – склон; гумус – 60 см; мат. порода – делювий; вскипание НС1 – с поверхности; засоление – нет; гумус (слой 0-20 см) – 1,65 %; рН – 8,0; P ₂ O ₅ – 1,0 мг/100 г почвы; K ₂ O – 20,0; токс. соли (сульфаты, хлориды, гидрокарбонаты) – 0,62; Са актив. – 2,5 мг/100 г
2	г.Ялта, пгт Ливадия, сорт «Бастардо Магарачский	44.478556, 34.148838	25.10.2020	коричневые горные карбонатные	Тяжелосуглинистые; щебнистые	Рельеф – склон; гумус – 70 см; мат. порода – делювий; вскипание НС1 – с поверхности; засоление – нет; гумус (слой 0-20 см) – 1,77 %; рН – 7,9; P ₂ O ₅ – 1,0 мг/100 г почвы; K ₂ O – 20,0; Са актив - 4,8 мг/100 г почвы
3	п. Партенит, селекционный питомник	44.569909, 34.329040	22.06.2020	коричневые горные некарбонатные	Тяжелосуглинистые; щебнистые	Рельеф – склон; гумус (слой 0-20 см) - 55 см; мат. порода - делювиальный суглинок. По всему профилю, за исключением редких известковых вкраплений вскипания не обнаружено. Отдельные тонкие корни уходят в почву на глубину до 120 – 130см. Количество органических веществ в почве невелико (до 1,7). Содержит K ₂ O - около 2 %, усваиваемой фосфорной кислоты – 20мг/ 100г почвы, азота общего и нитратного – незначительное количество.

№ образца	Хозяйство, участок	Точка координат	Дата отбора образца	Тип почв (согласно почвенной карте)	Механический состав	Описание
4	Комплекс «Мрия», виноградник у моря	44.39594, 33.941907	08.10.2020	коричневые горные карбонатные	Легкоглинистые; щелнистые	Рельеф – склон; гумус – 65 см; мат. порода – делювий; вскипание HCl – с поверхности; засоление – нет; гумус (слой 0-20 см) – 1,8 %; pH – 8,0; P ₂ O ₅ – 0,8 мг/100 г почвы; K ₂ O – 19,6; Са актив – 4,4 мг/100 г почвы
5	п. Качивели, «Массандра» Мускат белый	44.400834, 33.962392	02.11.2020	коричневые горные карбонатные	Легкоглинистые; щелнистые	Рельеф – склон; гумус – 65 см; мат. порода – делювий; вскипание HCl – с поверхности; засоление – нет; гумус (слой 0-20 см) – 1,9 %; pH – 8,0; P ₂ O ₅ – 1,1 мг/100 г почвы; K ₂ O – 20,2; Са актив – 5,2 мг/100 г почвы
6	г. Севастополь, с. Родное Хозяйство Уппа Вайнери	44.560944, 33.753095	08.10.2020	Бурые горнолесные остепненные	Тяжелосуглинистые; щелнистые	Рельеф – понижение; гумус (слой 0-20 см) - 65 см; мат. порода - делювий; вскипание HCl - с поверхности; засоление – нет; гумус - 2,2 %; pH – 8,2; P ₂ O ₅ – 0,5 мг/100 г почвы; K ₂ O – 20,1 мг/100 г почвы; токс. соли (сульфаты, хлориды, гидрокарбонаты) – 0,79 мг/100 г почвы; Са актив. – 22,3 мг/100 г
7	г. Севастополь, с. Родное, винодельня К-2	44.550778, 33.767896	08.10.2020	Бурые горнолесные остепненные среднесмытые	Тяжелосуглинистые; щелнистые	Рельеф – склон; гумус (слой 0-20 см) - 35 см; мат. порода - элювий мергелистого известняка; вскипание HCl - с поверхности; засоление – нет; гумус - 1,55%; Са тах - 83; pH – 8,4; P ₂ O ₅ – 0,4 мг/100 г почвы; K ₂ O - 15,2 мг/100 г почвы; Са актив – 24,3 мг/100 г
8	г. Севастополь с. Родное, хозяйство «Чоргун»	44.555567, 33.722498	08.10.2020	Тёмно-бурые и бурые горные остепненные	Тяжелосуглинистые; щелнистые	Рельеф – склон; гумус (слой 0-20 см) - 30 см; мат. порода - делювий; вскипание HCl - с поверхности бурное; засоление – нет; гумус -

№ образца	Хозяйство, участок	Точка координат	Дата отбора образца	Тип почв (согласно почвенной карте)	Механический состав	Описание
						2,31 %; P ₂ O ₅ – 0,8 мг/100 г почвы; K ₂ O – 25,3 мг/100 г почвы; Са актив – 15,3 мг/100 г
9	г. Севастополь, п. Андреевка, «Качинский+»	44.757 344, 33.585 122	02.11.2020	коричневые горные карбонатные	Легкоглинистые; щебнистые	Рельеф – волнистая равнина; гумус (слой 0-20 см) – 100 см; мат. порода – делювий; вскипание HCl – с поверхности; засоление – нет; гумус – 1,95 %; pH – 8,0; P ₂ O ₅ – 1,1 мг/100 г почвы; K ₂ O – 23,5 мг/100 г почвы; Са актив – 13,7 мг/100 г
10	г. Севастополь, с. Угловое	44.807 230, 33.608 345	02.11.2020	коричневые горные карбонатные	Легкоглинистые; щебнистые	Рельеф – волнистая равнина; гумус (слой 0-20 см) – 80 см; мат. порода – делювий; вскипание HCl – с поверхности; засоление – нет; гумус – 2,3 %; pH – 8,1; P ₂ O ₅ – 1,2 мг/100 г почвы; K ₂ O – 20,0 мг/100 г почвы; Са актив – 11,3 мг/100 г
11	Балаклава, «Золотая Балка», сорт Шардоне	44.528 528, 33.633 524	02.11.2020	коричневые горные карбонатные	Тяжелосуглинистые; щебнистые	Рельеф – волнистая равнина; гумус (слой 0-20 см) – 1,2 %, мат. порода – делювий; вскипание HCl – с поверхности; засоление – нет; pH почвы – 6,9; P ₂ O ₅ – 1,4 мг/100 г почвы; K ₂ O – 17,5 мг/100 г почвы; Са актив. – 19,4 мг/100 г
12	Бахчисарайский р-н, с. Рагущее	44.860 975, 33.872 827	08.10.2020	коричневые горные карбонатные	Тяжелосуглинистые; щебнистые	Рельеф – склон; гумус (слой 0-20 см) – 80 см; мат. порода – плиоценовые отложения; вскипание HCl – с поверхности бурное; засоление – нет; гумус – 2,66 %; pH – 8,0; P ₂ O ₅ – 1,2 мг/100 г почвы; K ₂ O – 25,5 мг/100 г почвы; токс. соли – 0,46 мг/100 г почвы; Са актив – 5,4 мг/100 г
13	Бахчисарайский р-н,	44.832 693,	12.07.2020	Чернозёмы предгорные на	Легкоглинистые; щебнистые	Гумусовый горизонт достигает 80-90 см. Содержание гумуса (слой

№ образца	Хозяйство, участок	Точка координат	Дата отбора образца	Тип почв (согласно почвенной карте)	Механический состав	Описание
	Агрофирма «Черноморец» сорта Пино нуар и Каберне-Совиньон	33.615765		плотных карбонатных породах		0-20 см) 2,9-3,6 %. Валового азота содержится 0,21-0,30 %, гидролизуемого 5-11 мг/100 г, что свидетельствует о высокой обеспеченности подвижным азотом. Фосфора в пределах 0,07-0,16 % (подвижного 0,5-6 мг/100 г), валового калия - 1,1-2,6 %, подвижного 16-43 мг/100 г. Емкость поглощения в верхних горизонтах равна 32-39 мг-экв. Профиль выщелочен от воднорастворимых солей на глубину 150-200 см и более. Засоление на этих глубинах сульфатно-кальциевое.
14	Бахчисарайский р-н, с. Вилино АК «Магарач»	44.854121, 33.649483	25.10.2020	чернозёмы на плотных глинах	тяжелосуглинистые	Карбонаты в слое почвы 0-60 см составляют около 7%, с глубиной – (1,5 м) возрастает до 17-19%. Объемный вес почвы в верхнем горизонте равен 1,29-1,33г/см ³ . Содержания общего азота на глубине плантажа – 0,12-0,13%. Гидролизуемый азот в слое почвы 0-60 см – 4,3-8,5 мг/100 г, подвижного фосфора – 0,7-2,1 мг/100 г. С глубиной содержание элементов питания уменьшается. В почвенном профиле гумуса содержится 2,5%. рН - 8,1 ед.
15	Бахчисарайский р-н, с. Вилино, Маточник Кобер 5ББ	44.860951, 33.625930	25.10.2020	чернозёмы на плотных глинах	средне- и тяжело глинистые	Рельеф – понижение; гумус - 65 см; мат. порода - делювий; вскипание HCl - с поверхности; засоление – нет; гумус – 1,55 %; рН – 8,0; P ₂ O ₅ – 0,9 мг/100 г почвы; K ₂ O - 20,1 мг/100 г

№ образца	Хозяйство, участок	Точка координат	Дата отбора образца	Тип почв (согласно почвенной карте)	Механический состав	Описание
						почвы; Са актив – 14,5 мг/100 г
16	с.Холмовка, Эски-Кермен	44.627 899, 33.746 005	08.10.2020	Тёмно-бурые горные остепненные	Тяжелосуглинистые; щебнистые	Рельеф – склон; гумус - 60 см; мат. порода - элювий мергеля подст. плотным мергелем; вскипание HCl - с поверхности бурное; засоление – нет; гумус - 1,55%; Са max – 76,7; pH – 8,4; P ₂ O ₅ – 0,3 мг/100 г почвы; K ₂ O - 14,5 мг/100 г почвы; токс. соли – 0,0 мг/100 г почвы Са актив – 24,3 мг/100 г
17	с.Судак, с. Морское, сорт Молдова	44.825 868, 34.824 690		коричневые горные некарбонатные	Тяжелосуглинистые; щебнистые	
18	с.Судак Кокур белый	44.881 228, 34.993 556	03.11.2020	коричневые горные карбонатные	Щебнистые	Рельеф – склон; гумус - 50 см; мат. порода - деллювий; вскипание HCl - с поверхности; гумус - 1,5%; Са max – 76,7; pH – 7,1; P ₂ O ₅ – 0,7 мг/100 г почвы; K ₂ O – 11,9 мг/100 г почвы; Са актив – 6,7 мг/100 г
19	с.Алушта	44.690 120, 34.416 329	03.11.2020	коричневые горные некарбонатные	Тяжелосуглинистые; щебнистые	
20	с.Приветное Каберне	44.810 834, 34.693 876	03.11.2020	коричневые горные некарбонатные	Тяжелосуглинистые; щебнистые	
21	с.Веселое	44.869 145, 34.903 650	03.11.2020	коричневые горные солонцеватые	Тяжелосуглинистые; щебнистые	
22	с. Морское, Италия	44.840 187, 34.830 655	03.11.2020	коричневые горные некарбонатные	Тяжелосуглинистые; щебнистые	Рельеф – склон; гумус - 60 см; мат. порода - деллювий; вскипание HCl - с пов-ти; гумус - 1,4%; pH – 7,1; P ₂ O ₅ – 0,7 мг/100 г почвы; K ₂ O – 13,4 мг/100 г почвы; Са актив – 6,7 мг/100 г

С целью геодезической привязки точек использован прибор GPS Trimble R3, который в режиме динамичной съемки обеспечивает дифференциальную точность WAAS/EGNOS. Отбор смешанных образцов почв проведен методом конверта (2x2 м) со слоя 0-20 см. Экранирование почв определялась на основе цифровых снимков, выпиленных цифровой камерой с высоты 1 м с трехразовой повторностью и дальнейшим исчислением среднего значения. Экранирование в процентах определяли с помощью электронной палетки в программе Corel DrawX4.

Результаты экранирования почв свидетельствуют о сложном характере растительного покрытия на разных участках исследуемой территории. Растровое изображение территории с нанесенными почвами, многоспектральный снимок и точки отбора образцов интегрированы в единую систему координат в Quantum GIS – 2.18 (QGIS). Радиометрическая коррекция значений DN осуществлялась по стандартным алгоритмам, рекомендованным исследователями и авторами снимков^{194 195 196 197}. Преобразование числовых значений безразмерных величин DN, пропорциональным интенсивности излучения от объектов, которых достигает сенсор R, в безразмерные абсолютные значения отражения ρ альbedo проводились в соответствии с Landsat 7 Science Data Users Handbook^{198 199}:

$$\rho = \pi \cdot R \cdot d^2 / E \sin \theta,$$

где π – 3,14; R – интенсивность излучения, достигающая сенсора на орбите; d – расстояние между Землей и Солнцем; E – коэффициент светимости для каждого канала многоканального снимка, полученного в соответствии со спецификацией сенсора; θ – высота Солнца над горизонтом в момент съемок.

¹⁹⁴ Landsat 7 Science Data Users Handbook [Text] / National Aeronautics and Space Administration. – Report, USGS Unnumbered Series, GIP, Geological Survey (U.S.), 1998. – P. 78–90. – Available at: http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf

¹⁹⁵ Barker, J. L. Landsat – 7 Mission and Early Results [Text]: conference / J. L. Barker, S. K. Dolan, P. A. Sabelhaus, D. L. Williams, J. R. Irons, B. L. Markham et. al. // Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites III. – 1999. doi: 10.1117/12.373220

¹⁹⁶ Teillet, P. M. Radiometric cross-calibration of the Landsat-7 ETM+ and Landsat-5 TM sensors based on tandem data sets [Text] / P. M. Teillet, J. L. Barker, B. L. Markham, R. R. Irish, G. Fedosejevs, J. C. Storey // Remote Sensing of Environment. – 2001. – Vol. 78, Issue 1-2. – P. 39–54. doi: 10.1016/s0034-4257(01)00248-6

¹⁹⁷ Thome, K. Radiometric Calibration of Landsat [Text] / K. Thome, B. Markham, J. Barker, P. Slater, S. Biggar // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1997. – Vol. 63, Issue 7. – P. 853–858. – Available at: http://info.asprs.org/publications/pers/97journal/july/1997_jul_853-858.pdf

¹⁹⁸ Landsat 7 Science Data Users Handbook [Text] / National Aeronautics and Space Administration. – Report, USGS Unnumbered Series, GIP, Geological Survey (U.S.), 1998. – P. 78–90. – Available at: http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf

¹⁹⁹ Teillet, P. M. Radiometric cross-calibration of the Landsat-7 ETM+ and Landsat-5 TM sensors based on tandem data sets [Text] / P. M. Teillet, J. L. Barker, B. L. Markham, R. R. Irish, G. Fedosejevs, J. C. Storey // Remote Sensing of Environment. – 2001. – Vol. 78, Issue 1-2. – P. 39–54. doi: 10.1016/s0034-4257(01)00248-6

При этом, коэффициенты светимости были взяты из справочника по продукту Landsat-7²⁰⁰; высота Солнца над горизонтом получена из файла метаданных к снимкам.

Интенсивность излучения от объектов, достигавшая сенсора R , определялась по формуле:

$$R = M_R \cdot d + A_R,$$

где M_R та A_R – калиброванные коэффициенты для снимка, полученные из служебного файла метаданных, который представляется вместе со снимками на дату съемки; d – расстояние в астрономических единицах, которое определяется по формуле:

$$d = 1 - 0,01668 \cdot \cos\left(i \frac{2\pi}{365}\right),$$

где i – номер дня года, полученный из файла метаданных. Вегетационные индексы определялись по стандартным формулам, полученным из инструкций по пользованию продуктом Landsat 7 ETM+²⁰¹. Нормализованный относительный индекс растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) рассчитывается по формуле²⁰²:

$$NDVI = \frac{\text{Band5} - \text{Band7}}{\text{Band5} + \text{Band7}},$$

где Band5 – отражение в инфракрасном диапазоне 1550–1750 нм; Band7 – отражение в инфракрасном диапазоне 2080–2350 нм. При этом вегетационный индекс с учетом почвы SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) рассчитывается по формуле²⁰³:

$$SAVI = \frac{(\text{Band4} - \text{Band3})}{(\text{Band4} + \text{Band3} + L)} (1 + L),$$

где Band4 – отражение в ближнем инфракрасном диапазоне; Band3 – отражение в красной области спектра; L – индекс залеснения (принимается 0,5).

²⁰⁰ Landsat 7 Science Data Users Handbook [Text] / National Aeronautics and Space Administration. – Report, USGS Unnumbered Series, GIP, Geological Survey (U.S.), 1998. – P. 78–90. – Available at: http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf

²⁰¹ Landsat 7 Science Data Users Handbook [Text] / National Aeronautics and Space Administration. – Report, USGS Unnumbered Series, GIP, Geological Survey (U.S.), 1998. – P. 78–90. – Available at: http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf

²⁰² Rouse, J. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS [Text] / J. W. Rouse, R. H. Haas, J. A. Schell, D. W. Deering // Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium, NASA SP-351. – 1973. – Vol. 1. – P. 309–317.

²⁰³ Huete, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI) [Text] / A. R. Huete // Remote Sensing of Environment. – 1988. – Vol. 25, Issue 3. – P. 295–309. doi: 10.1016/0034-4257(88)90106-x

Модифицированный почвенно-корректированный индекс MSAVI (Modified Soil Adjusted Vegetation Index) определяется по формуле^{204 205}:

$$\text{MSAVI} = \frac{2\text{Band4}+1-\sqrt{(2\text{Band4}+1)^2-8(\text{Band4}-\text{Band3})}}{2}.$$

В ходе исследований для большинства зависимостей выявлено среднее значение, которое имеет относительно невысокую степень корреляционной связи, что обусловлено различным характером экранирования почвенного покрытия и составом покровной растительности в различных точках получения образцов почв. В данном случае многокомпонентное экранирование почвы создало существенные барьеры для получения более четкого и информационного спектрального образа.

Исследование позволило выявить, что в условиях пестрого почвенного покрытия, которое характеризуется многокомпонентной экранированностью наземной растительности, основу диагностики агрохимических показателей составляет прием фильтрации аналитической корреляционной выборки почв по типам почвообразования и схожим гранулометрическим составом.

Результаты показали, что дистанционное зондирование показателей свойств почвы подтвердили преимущественно средний уровень достоверности диагностирования большинства параметров. Полученные данные позволяют утверждать, что имеет место существенное влияние растительности на качественные характеристики полученных спектральных снимков. Поэтому важным является использование оптимального подхода к формированию статистической выборки. также необходимо обратить внимание на необходимость группировки почв по определяемым признакам, что позволит идентифицировать в них наличие питательных веществ, оказывающих непосредственное влияние на плодородие. Кроме того, необходимо учесть зависимость между количеством отобранных показателей почвы и качеством построения картосхемы обеспечения почвы необходимыми веществами.

Учитывая необходимость постоянного мониторинга почв, дистанционная идентификация агрохимических показателей почвы наряду с традиционными методами диагностики позволит, с одной стороны, сократить время съемки, а, с другой, значительно удешевить ее стоимость. Данная технология дистанционного

²⁰⁴ Zhongming, W. Stratified vegetation cover index: A new way to assess vegetation impact on soil erosion [Text] / W. Zhongming, B. G. Lees, J. Feng, L. Wanning, S. Haijing // CATENA. – 2010. – Vol. 83, Issue 1. – P. 87–93. – doi: 10.1016/j.catena.2010.07.006

²⁰⁵ Qi, J. A modified soil adjusted vegetation index [Text] / J. Qi, A. Chehbouni, A. R. Huete, Y. H. Kerr, S. Sorooshian // Remote Sensing of Environment. – 1994. – Vol. 48, Issue 2. – P. 119–126. doi: 10.1016/0034-4257(94)90134-1

зондирования может успешно применяться для получения качественной и достоверной информации о состоянии почв, наличии в них основных питательных веществ, что является основанием для выводов относительно их плодородия. Приоритетными направлениями дальнейших исследований в данном направлении нам видится повышение уровня достоверности корреляционной связи между характеристиками спектральных снимков и величинами свойств почв.

Что касается повышения качества данного алгоритма дистанционного зондирования почвы, то мы видим его в части обеспечения принципа однородности при формировании аналитической выборки корреляционной связи между показателями свойств и характеристик спутниковых снимков. Суть заключается в том, что процессы отбора образцов почв и формирования оптимальной статистической выборки должны быть согласованы с материалами массовых обследований почв по предыдущим периодам. То есть, должна быть возможность учета территориального распространения выделенных ареалов почв. Вместе с тем, учитывая возможное несоответствие качества материалов наземных обследований почв, их использовать нужно очень взвешенно. В случае отсутствия картографических материалов основой дистанционной диагностики ряда агрохимических показателей почв является их гранулометрическое содержание.

Отметим также, что формирование статистической выборки для проведения корреляционного анализа взаимосвязей между показателями свойств почв и характеристиками космоснимков, а также их гранулометрическое содержание должны учитывать структуру покрытия. Также необходимо учесть и необходимость соблюдения принципа однородности при выборе качественных характеристик, что позволит добиться более достоверных данных о состоянии почв. Еще одной важной составляющей повышения качества диагностики почв является дистанционная фотоиндексация. При ее наличии принцип однородности будет обеспечен за счет полного или частичного покрытия растительностью земной поверхности. Высокая идентификационная способность может быть обеспечена за счет спектральных характеристик сельскохозяйственных культур²⁰⁶.

²⁰⁶ Бындыч, Т. Ю. Современные подходы к дистанционной фитоиндикации состояния почвенного покрова [Текст] / Т. Ю. Бындыч, Л. П. Коляда, С. Р. Трускавецкий // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2 (55). – С. 30–38.

Таким образом, приходим к выводу, что группирование почв на основе принципа однородности по типам формирования почв и гранулометрическому составу при формировании статистической выборки способствует повышению уровня информативности спектрональных снимков по отражательной способности ρ альбедо и вегетационным индексом NDSI.

3.2 Дистанционное диагностирование плодородия виноградных агроценозов

Для Республики Крым, занимающей одно из ведущих мест по производству винограда в Российской Федерации, дальнейшее развитие данной отрасли имеет стратегическое значение. Такому развитию при современных условиях хозяйствования способствует мониторинг состояния сельскохозяйственных посевов и земель, направленный на решение целого ряда задач, одной из которых является не только определение состояния виноградных агроценозов, оценка всхожести, засоренности, установление режима внесения удобрений, но и прогнозирование урожайности, плодородия данных почв. Благодаря совершенствованию технологий дистанционного зондирования Земли, постоянно расширяются потенциальные возможности оперативной оценки состояния почв на региональном и местном уровнях.

Вместе с тем, степень внедрения данных технологий в Республике Крым пока еще не отвечает хозяйственной значимости виноградарства. Проблема действенного и эффективного применения технологий дистанционного зондирования в сельскохозяйственной практике остается актуальной. Это относится как к региональному, так и к локальному уровням. В этом смысле Крым не является исключением, для повышения плодородия виноградных агроценозов Крыму необходимы соответствующие научно-методические разработки, ориентированные на местную географическую специфику виноградарства.

В настоящее время использование результатов дешифрирования спутниковых снимков в отдельных хозяйствах сдерживается отсутствием таких разработок. Кроме того, некоторые задачи требуют самостоятельных исследований. Одной из таких задач является разработка методологических основ формирования системы дистанционной диагностики плодородия почвы виноградных агроценозов в связи с технологией ее обработки и биоэкологическими особенностями возделываемых культур в решении проблем повышения эффективности землепользования.

Так, для субъектов сельскохозяйственной деятельности и управленческих структур региона важными задачами являются своевременное установление локальных пространственных аномалий в распределении возделываемых культур (в масштабе отдельного поля), а также их идентификация по данным спутниковых снимков. Своевременное решение этих задач должно способствовать оптимизации использования земельных ресурсов в Крыму, а в технологическом смысле будет способствовать научному обоснованию применения материалов дистанционного зондирования в сельскохозяйственной деятельности.

Ландшафтно-земельные условия региона можно охарактеризовать, опираясь на распространенную европейскую номенклатуру земель СОШЫЕ. Применение этой номенклатуры (классификации) земель целесообразно не только в силу обращения к формальным признакам классификации, но и по причине возможной реализации данных дистанционного зондирования Земли в качестве информационных источников.

CORINE (Coordination of information on the environment) - программа создания единой европейской системы сбора и обмена информацией о состоянии природной среды. В программе CORINE нашли широкое применение методы аэрокосмического мониторинга Земли. На основе материалов космических съемок со спутников Landsat и SPOT к началу 1990-х гг. были составлены цифровые карты земных покрытий для нескольких стран западной Европы (в масштабе 1:100 000), вошедшие в базу данных программы. Позже по инициативе European Environment Agency (EEA) выполнены работы по коррекции и обновлению информации, что позволило перейти к оценкам изменений природной среды. В составлении обновленной базы данных приняли участие уже 32 страны. Программа базируется на обработке спутниковых снимков с визуальной и автоматизированной интерпретацией, оцифровкой и последующей интеграцией в базу данных²⁰⁷.

Важным результатом программы CORINE явилось создание номенклатуры земель на территорию Европы (CORINE Land Cover Classification System). В рамках программы в рабочем масштабе 1:100000 составляются карты структуры земель; наиболее обобщенный первый уровень включает 5 групп земель, второй

²⁰⁷ Бродский Л., Бушуев Е.И., Волошин В.И., Козлова А.А., Паршина О.И., Попов М.А., Саблина В.И., Сахацкий А.И., Сиротенко А.В., Соукап Т., Станкевич С.А., Тарарико А.Г. Проект IGAS по разработке автоматизированной технологии классификации земных покрытий: научные задачи, основные результаты и перспективы // Космічна наука і технологія. 2009. Т. 15. №2. С. 36-48.

уровень - 15 категорий, третий (наиболее детальный) - 44 категории земель²⁰⁸. Основные категории земель первого уровня отражают общепланетарную схему использования земель; второй уровень предназначен для идентификации категорий использования земель в масштабе 1:500000 и 1:1000000; третий уровень используется при выполнении проектов в масштабе 1:100000.

Для отражения ландшафтно-земельных условий формирования растениеводства на основе схемы CORINE выполнена классификация земель Крыма. При этом, исходя из регионального масштаба, мы ограничились первым и вторым уровнями классификации земель²⁰⁹, выбор которых связан с представительностью соответствующих категорий земель в регионе. В качестве исходной информации при классификации использованы спутниковые снимки и кадастровые данные.

На базе аэрокосмических материалов можно сформировать качественные тематические базы данных. Этому, прежде всего, способствуют атрибутивные характеристики, полученные со средств дистанционного зондирования, которые имеют территориальную привязку. Кроме того, в них нет пропусков («белых пятен») в пределах изображаемого пространства (территории, акватории и др.), а также уже имеется множество технологий перевода подобных материалов в цифровую форму и их автоматизированного дешифрирования.

Расшифровка аэрофотоснимков, полученных в различных диапазонах света беспилотными летающими аппаратами, а также информация со спутников позволяет получить требуемую информацию о состоянии виноградных агроценозов. Применение автоматизированных метеорологических измерений, анализаторов качества стоков воды с виноградников, измерение уровня грунтовых вод, использование георадаров и других средств измерений в режиме контроля и фиксации географических координат места проведения исследований по установленной программе, позволяет повысить производительность труда и получить более достоверные показатели обследования.

Для развития информационных подходов оценки почв для нужд сельского, лесного хозяйства и экологического природопользования при направленности экономики в сторону «цифровизации», необходимо создание информационных, вероятностно-статистических и динамических моделей почвенного покрова, его

²⁰⁸ Гурьянова Л.В. Использование ГИС и данных дистанционного зондирования для мониторинга застроенных территорий // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 2. 2008. №3. С. 107-112.

²⁰⁹ Там же

плодородия, как для отдельных классификационных групп почв, так и для неоднородного почвенного покрова.

В настоящее время спутниковые технологии наблюдения позволяют получать объективную количественную информацию о различных объектах и явлениях. Это, в частности, позволяет создавать новые информационные технологии и системы для наблюдения и изучения различных процессов, происходящих в растительных системах, в том числе сельскохозяйственных. В то же время следует отметить, что изучение различных видов сельскохозяйственных культур имеет свою специфику, которая требует создания специализированных информационных систем, позволяющих обеспечивать получение и анализ однородной по времени и пространству информации.

Особенно это важно в том случае, когда речь идет об изучении многолетних насаждений, к которым, например, относятся виноградники. В этом случае необходимо создавать специальные информационные технологии наблюдения таких объектов. При этом должны быть определены различные характеристики исследуемых объектов, которые могут быть восстановлены на основе данных дистанционных наблюдений и быть использованы для оценки их состояния и прогнозов развития.

Считаем необходимым в этой связи провести анализ методов дистанционной оценки состояния и процессов развития виноградников, а также создания на их основе подходов к формированию системы дистанционного мониторинга виноградников Юга России, ориентированной на решение задач прогнозирования состояния виноградных насаждений, получения объективной информации о плодородии виноградных агроценозов.

Интенсивное использование земель часто ведет к развитию неблагоприятных процессов (водной и ветровой эрозии, вторичного засоления и заболачивания, загрязнения почв промышленными выбросами и пестицидами), что существенно ухудшает свойства почвенного покрова. В связи с этим возникает необходимость слежения за показателями состояния почв с целью его оценки, прогнозирования и картографирования, а также обоснования мероприятий по повышению почвенного плодородия.

Мониторинг почвенного покрова включает систематические наблюдения за уровнем загрязнения почв, процессами миграции химических веществ, динамикой показателей почвенного плодородия в пространстве и во времени. Однако он не может ограничиться лишь анализом проб почв, так как исследование

почв неотделимо от изучения других компонентов ландшафта, всех путей накопления загрязняющих веществ как в природных, так и в антропогенных комплексах. Характеризуя состояние почвенного покрова на территории Крымского полуострова, необходимо отметить, что сельскохозяйственное производство на обширных территориях в последние полвека осуществлялось за счет ирригационных возможностей Северо-Крымского канала, который был перекрыт в 2014 году и в настоящее время используется только для хозяйственного и питьевого водоснабжения Керченского полуострова из водохранилищ и артезианских водозаборов северо-востока Крымского полуострова.

Площадь орошаемого земледелия сократилась в 20 раз, земли подвергаются эрозии, засолению и др. неблагоприятным воздействиям²¹⁰. Аналогичные процессы (в более мягкой форме) происходят и в других регионах Юга России и обусловлены снижением годового стока рек Краснодарского и Ставропольского краев, Ростовской области, а также частично республик Северного Кавказа. Учитывая значительные по площади территории (например, площадь Крымского полуострова составляет 27000 кв. км, орошаемое земледелие развивалось на территории свыше 400 тыс. га)²¹¹, осуществление мониторинга состояния почв и планирование на этой основе мероприятий по сохранению их плодородия невозможно традиционными методами без активного использования методов дистанционного исследования, в первую очередь - методами дистанционного зондирования Земли из космоса, а также современных цифровых технологий, что определено задачами национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»²¹².

Вопросам сохранения и восстановления плодородия виноградных агроценозов посвящено значительное количество трудов отечественных и зарубежных ученых и исследователей. Имеются труды, посвященные дистанционному оцениванию состояния почв, ряд исследователей применял результаты дистанционного зондирования Земли из космоса для мониторинга плодородия почв, почвенного картографирования. Деградация земель негативно влияет на продовольственную безопасность населения мира. По оценке некоторых специалистов, в настоящее время доля нарушенных земель составляет

²¹⁰ Республика Крым в цифрах. 2017: Крат. стат. сб./Крымстат- С., 2018 - 176 с.

²¹¹ Там же

²¹² Паспорт национальной программы "Цифровая экономика Российской Федерации" / Утвержден президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. № 16), 2018. - 90 с.

около 29% земельных ресурсов нашей планеты, пригодных для сельскохозяйственного использования²¹³.

Высокая эколого-хозяйственная значимость почв диктует необходимость создания оптимальных механизмов регулирования интенсивности их использования. Компьютерная инвентаризация почвенной информации, совмещение ее с имеющимися цифровыми картами, использование современных ГИС-технологий послужит основой формирования мониторинга состояния почв, разработки единой системы контроля, агрометеорологического и экологического моделирования размещения сельскохозяйственных культур на региональном и общенациональном уровнях²¹⁴.

Исследования, проведенные в станах балтийского региона, показали, что экономическая стоимость потерь в результате деградации земли составляет около 9 миллиардов долларов США в год. При этом каждый доллар, вложенный в восстановление деградировавших почвенных экосистем, может принести около 3 долларов социальной выгоды через 6 лет²¹⁵. По мнению некоторых исследователей, оценка и анализ специфики деградации почвы должны основываться, прежде всего, на изучении особенности деградации гумуса в различных вариантах возделывания сельскохозяйственных культур. Показано, что через 2-3 года обработки почвы при возделывании кукурузы значительно снижается содержание органического углерода, азотосодержащих соединений, в целом происходит деградация органического почвенного вещества²¹⁶.

Интегральная оценка экологической чувствительности, уровня устойчивости и динамики качественных характеристик почвы имеет важное значение в стратегии планирования и проведения сельскохозяйственных работ, особенно в регионах с высоким уровнем эксплуатации земельных ресурсов. Исследования, проведенные в районе дельты Северного Нила выявили высокий уровень рисков, особенно в южной части региона, тотальной деградации почвы, снижения ее качества и устойчивости в результате интенсивного

²¹³ Le Q. B., Nkonya E., Mirzabaev A. Biomass productivity-based mapping of global land degradation hotspots // *Economics of Land Degradation and Improvement — A Global Assessment for Sustainable Development*. Springer International Publishing, 2016. P. 55—84.

²¹⁴ Рожков В.А., Алябина И.О., Колесникова В.М., Молчанов Э.Н., Столбовой В.С., Шоба С.А. Почвенногеографическая база данных России // *Почвоведение*. 2010. № 1. С. 3–6.

²¹⁵ Braun Von, J & Mirzabaev, Alisher. Land Use Change and Economics of Land Degradation in the Baltic Region. *Baltic Region*. 2016, № 8. 33-44. 10.5922/2079-8555-2016-3-3.

²¹⁶ Drosos M., Piccolo A. The molecular dynamics of soil humus as a function of tillage // *Land Degradation & Development*. 2018. Volume 29, Issue 6. Pages 1792-1805.

сельскохозяйственного использования²¹⁷. Предложен способ нахождения показателя состояния и оценки качества почвы, испытывающей антропогенную нагрузку. Выведено уравнение функции состояния в общем виде; предложен способ нахождения параметров этого уравнения на основе интерпретации экспериментальных зависимостей «доза-эффект». Введена шкала экологической оценки качества почвы²¹⁸.

В настоящее время определенное развитие получила система косвенных оценок состояния почв на основе данных дистанционного зондирования Земли, что может быть использовано в математическом моделировании почвенных процессов^{219–220}. Особенности развития почвы может быть смоделировано с помощью имитационных моделей почва-вода-атмосфера-растение (SWAP), которые используются в компьютерной программе моделирования потенциальных урожаев в различных регионах планеты. При этом в качестве базовых элементов используются показатели радиационного и температурного режима, стандартизированные характеристики сельскохозяйственных культур в условиях достаточного запаса воды и питательных веществ и отсутствия вредителей и болезней. На шести типах почвы в трех вариантах ее деградации с учетом прогнозируемого изменения климата до 2100 г. итальянскими исследователями смоделирована динамика качественных характеристик почвы, показано значительное их снижение²²¹.

Существует высокая потребность получения данных дистанционного зондирования для оперативного управления почвой и урожайностью сельскохозяйственных культур²²². Пространственное разрешение и временная частота изображений дистанционного зондирования существенно повысились. Это позволяет оценивать почвенные показатели и характеристики растений в высоком пространственном разрешении за счет увеличения объема данных и

²¹⁷ Elbasiouny H. Assessment of Environmental Sensitivity to Desertification, Soil Quality and Sustainability in An Area of The North Nile Delta, Egypt // *J. Soil. Sci.* 2018. Vol. 58, No. 4, pp. 399-415.

²¹⁸ Яковлев А. С., Гендугов В. М., Глазунов Г. П., Евдокимова М. В., Шулакова Е. А. Методика экологической оценки состояния почвы и нормирование ее качества // *Почвоведение.* 2009, № 8, с. 984–995.

²¹⁹ Шейн Е. В., Рыжова И. М. Математическое моделирование в почвоведении. Учебник. М.: «ИП Маракушев А. Б.», 2016. – 377 с.

²²⁰ Михайленко И. М., Тимошин В. Н. Управление химическим состоянием почв на основе данных дистанционного зондирования Земли // *Таврический вестник аграрной науки.* 2018. № 1(13). С. 63–74.

²²¹ Bonfante, A., Terribile, F., and Bouma, J.: Refining physical aspects of soil quality and soil health when exploring the effects of soil degradation and climate change on biomass production: an Italian case study, *SOIL*, 5, 1-14, <https://doi.org/10.5194/soil-5-1-2019>, 2019.

²²² Блохина С. Ю. Применение дистанционного зондирования в точном земледелии // *Вестник Российской сельскохозяйственной науки.* 2018. № 5.

повышения требований к их обработке. Временная частота изображений дистанционного зондирования также значительно повысилась.

В последние десятилетия спутниковые методы и технологии все более широко применяются в решении задачах получения объективной информации об использовании и состоянии сельскохозяйственных земель. Для этих целей активно разрабатываются и внедряются специализированные информационные системы различного уровня. Однако применение дистанционных методов и геоинформационных технологий в изучении агроландшафтов с точки зрения системного подхода, как в отечественных, так и в зарубежных научных исследованиях, в недостаточной степени развито и требует дальнейшего изучения возможностей их эффективного использования^{223 224 225}. Доступность спутниковой информации (в том числе возможность получения ее по низкой стоимости или бесплатно) существенно расширила возможности ее использования в научных исследованиях и стала одним из наиболее значимых факторов, повлиявших на развитие систем ДЗЗ в последнее десятилетие. Именно доступность информации привела к практически взрывному росту разработок в области использования возможностей спутниковых систем дистанционного наблюдения Земли.

Можно констатировать, что в настоящее время, фактически, появился общедоступный измерительный инструмент, отвечающий требованиям исследователей различных процессов и объектов нашей планеты и обладающий, в совокупности, следующими уникальными свойствами: – глобальностью зоны наблюдений, т.е. возможностью увидеть то, что нельзя охватить другими системами наблюдений в течение коротких сроков наблюдений; – объективностью получаемой информации, т.е. независимостью результатов от наблюдателя (пользователя) и условий измерений; – высокой повторяемостью, т.е. возможностью обеспечить сбор рядов данных, необходимых для слежения за динамикой различных процессов; – воспроизводимостью, т.е. возможностью получения доступа различным группам ученых к одному и тому же набору

²²³ Козубенко И. С., Савин И. Ю. Спутниковые данные в управление агропромышленным комплексом региона // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 5. С. 9–11.

²²⁴ Кулик К. Н., Кошелев А. В. Методическая основа агролесомелиоративной оценки защитных лесных насаждений по данным дистанционного мониторинга // Лесотехнический журнал. 2017. № 3. С. 107–114.

²²⁵ Chervan' A. The assessment of resource potential of agro-landscapes with use of geo-information systems on the basis of soil cover structure // The Proceedings of the 10th International Soil Science Congress on "Environment and Soil Resources Conservation". 2018. p. 19.

данных для независимых проверок полученных результатов; – наличием архивов долговременных непрерывных наблюдений, в ряде случаев на сроки до 30 лет.

Появление указанных возможностей привело к тому, что возникли совершенно новые возможности для исследования, мониторинга и контроля различных ресурсов нашей планеты. В частности, возможность достаточно быстрого и регулярного получения информации позволила начать создавать новые технологии, связанные с изучением и контролем различных возобновляемых растительных ресурсов, процессы развития которых происходят достаточно быстро. Поэтому в последние годы достаточно быстро развивались методы и технологии, позволяющие получать на основе спутниковой информации объективные данные о состоянии растительного покрова.

Особо следует отметить, что в России в данной области ведутся активные разработки, которые не только не уступают зарубежным аналогам, но и в вопросах, связанных с созданием методов автоматизированной обработки данных и систем распределенной работы со спутниковой информацией и результатами ее обработки, превосходят зарубежные аналоги. В институтах Российской академии наук в последнее десятилетие созданы уникальные методы, алгоритмы и технологии работы со спутниковыми данными, позволившие решить значительное число научных задач, а также создать прикладные системы дистанционного мониторинга^{226 227}.

3.3 Поисковая система для решения задач управления на основе генетического алгоритма с оператором мутации *k*-средних

В современном мире одним из наиболее важных ресурсов является информация, а информационный поиск является неотъемлемой частью жизнедеятельности миллиардов людей. Однако сегодня объемы информации, хранимой в цифровом формате, настолько велики, что использование классических методов поиска может отнимать достаточно большое количество времени. Примером может послужить часть работы менеджеров: поиск клиентов

²²⁶ Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В., Крашенинникова Ю.С. Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 1. С.26-43.

²²⁷ Лупян Е.А., Саворский В.П., Шокин Ю.И., Алексанин А.И., Назиров Р.Р., Недолужко И.В., Панова О.Ю. Современные подходы и технологии организации работы с данными дистанционного зондирования Земли для решения научных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т.9. № 5. С.21-44.

с помощью сети Интернет, навигация по неструктурированной документной базе, поиск наиболее опасных по определенным критериям летательных аппаратов.

В виде проблемы информационный поиск начал оформляться еще в XIX веке. При этом, несмотря на современное техническое обеспечение, проблема до сих пор не решена окончательно, особенно, когда речь идет о потребности в больших объемах информации. Само по себе наличие проблемы свидетельствует об актуальности исследований в рассматриваемой области.

Сегодня проблемы обработки, хранения и использования информации решаются на уровне государства, о чем свидетельствует принятие и реализация национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»^{228 229}. Программа направлена на осуществление комплексной цифровой трансформации экономики и социальной сферы России, в связи с чем многократно возрастут объемы обрабатываемых данных. Данный тезис формулирует еще один аргумент в подтверждение актуальности данной части исследования.

Теоретическая ценность данной части исследования состоит в синтезе модифицированного генетического алгоритма, в котором оператор мутации построен на основе метода k-средних. В ходе исследования было установлено, что на данный момент существует лишь одна свободно распространяемая система, работающая аналогичным образом – «Yirru». Однако она не всегда работает корректно с русским языком. Исследование направлено на построение русскоязычной системы, в чём и заключается практическая ценность.

Анализ литературы показал, что на данный момент существует достаточно много алгоритмов кластеризации данных^{230 231 232}, однако каждый из них обладает собственным недостатком (необходимость задания количества кластеров, соотношение сложность/качество, недетерминированная реакция на различную

²²⁸ Тимиргалеева Р.Р., Гришин И.Ю. Цифровые технологии в организации эффективной деятельности финансово-кредитных учреждений // Развитие финансов, бухгалтерского учёта и аудита в современных концепциях управления. Материалы I международной научно-практической конференции. 2018. С. 86-88.

²²⁹ Grishin I., Timirgaleeva R. The Digital Economy of the Region: a Distributed Infrastructure of the Industry Ecosystem // Conference of Open Innovations Association, FRUCT. 2019. V. 24. P. 624-631.

²³⁰ Бондарев Я. А. Кластеризация текстовых документов на основе генетического алгоритма // Материалы XXVI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов - 2019". Севастополь: 2019.

²³¹ Картиев С.Б., Курейчик В.М. Разработка и исследование алгоритма решения задачи кластеризации для осуществления вопросно-ответного поиска в информационно-аналитической системе прогнозирования // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 7 (180). С. 18-28.

²³² Чекина А.В. Генетическая кластеризация технической документации в проектной репозитории САПР // Тринадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. Труды конференции. 2012. С. 82-89.

топологию данных). По мнению авторов, генетический алгоритм²³³, как эвристический метод, поможет сгладить некоторые из них. В качестве основы был выбран гибрид генетического алгоритма и метода k-средних²³⁴.

Нашим направлением информационного поиска является кластеризация типов летательных аппаратов, цель которой – их автоматическое разбиение на похожие группы. В отличие от классификации, никакие признаки этих групп не известны заранее. С другой стороны, кластеризация, известная также как задача кластерного анализа, относится к классу проблем обучения без учителя.

Применяя методы кластерного анализа можно решать такие задачи, как построение типологий или классификаций, исследование зависимостей в данных для группировки по общим признакам, проверка истинности утверждений относительно выделенных групп в данных²³⁵.

Существуют различные типологии методов кластеризации. По типу входных данных можно выделить алгоритмы, принимающие признаковое описание объектов, матрицу сходства или матрицу расстояний между объектами. Относительно используемых методов бывают алгоритмы, основанные на вероятностном подходе (K-средних, EM-алгоритм, семейство FOREL, дискриминантный анализ), использующие в качестве основы средства искусственного интеллекта (нейронные сети, генетический алгоритм, нечеткая кластеризация C-средних) или логический подход (деревья решений). Также известны иерархические и теоретико-графовые подходы²³⁶.

К возможным целям кластеризации относятся проблемы сжатия данных, обнаружения нетипичных объектов или выбросов, понимания данных с помощью выделения кластерной структуры. Для решения данного вопроса сформулируем основные этапы решения. К ним относятся: получение результатов множественного поиска в различных системах, проведение кластеризации и автоматизации определения наиболее подходящих кластеров.

²³³ Бондарев Я. А. Кластеризация текстовых документов на основе генетического алгоритма // Материалы XXVI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов - 2019". Севастополь: 2019.

²³⁴ Krishna K., Narasimha M. Murty Genetic K-Means Algorithm // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1999. V. 3.

²³⁵ Картиев С.Б., Курейчик В.М. Разработка и исследование алгоритма решения задачи кластеризации для осуществления вопросно-ответного поиска в информационно-аналитической системе прогнозирования // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 7 (180). С. 18-28.

²³⁶ Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. Москва, ООО Издательская фирма "Физико-математическая литература", 2010. 366 с.

Для кластеризации типов летательных аппаратов предлагаем использовать методы машинного обучения без учителя, в частности, генетический алгоритм. Классический генетический алгоритм (ГА) является мощным инструментом оптимизации, поэтому необходимо представить задачу кластеризации в виде поиска глобального оптимума некоторой целевой функции. Этот метод заключается в итеративном применении генетических операторов. В качестве начального приближения формируется исходная популяция – множество предлагаемых решений. Подобно методу Монте-Карло исходная популяция формируется случайно. Генетические операторы – это операторы селекции, скрещивания и мутации. Процесс останавливается при выполнении некоторого критерия останова^{237 238}.

Будем считать задачу успешно решенной, в случае, когда значение метрики $V\text{-measure}$ ²³⁹ превышает значение 0,75 и кластеризация выполняется за время меньше $O(N^2)$, где N – количество типов летательных аппаратов.

Так как основой поиска в соответствии с постановкой задачи является алгоритм кластеризации типов летательных аппаратов, то рассмотрим ключевые подходы к решению задачи кластеризации^{240 241}.

Отметим основные критерии оценки пригодности методов для решаемой задачи. С точки зрения конечного пользователя в первую очередь следует отметить соотношение скорости и точности. Данные параметры являются конкурирующими величинами. Идеальный вариант – возможность выбора соотношения скорости и точности. Также может возникнуть вопрос о «пересекаемости». Достаточно важное условие – количество предварительной информации. Чем меньше входных параметров нужно для кластеризации, тем лучше. Например, необходимость указания количества кластеров.

С другой стороны, необходимо учесть особенности реализации алгоритмов. Будем обращать внимание на возможность использования входных данных разного типа и необходимость обучения алгоритмов.

²³⁷ Зенкина О.Н., Симонов Н.А. Применение генетических алгоритмов в вопросах оптимизации информационных процессов // Актуальные проблемы гидросферы (диагностика, прогноз, управление, оптимизация и автоматизация). Сборник докладов. 2015. С. 315-323.

²³⁸ Семенихин С.В., Денисова Л.А. Автоматизация информационного поиска на базе многокритериальной оптимизации и генетических алгоритмов // Динамика систем, механизмов и машин. 2014. № 3. С. 224-227.

²³⁹ Там же

²⁴⁰ Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. Москва, ООО Издательская фирма "Физико-математическая литература", 2010. 366 с.

²⁴¹ Тимиргалеева Р.Р., Гришин И.Ю. Цифровые технологии в организации эффективной деятельности финансово-кредитных учреждений // Развитие финансов, бухгалтерского учёта и аудита в современных концепциях управления. Материалы I международной научно-практической конференции. 2018. С. 86-88.

Необходимо также понимать различия между классификацией и кластеризацией. Классификация – отнесение каждого объекта к классу с заранее известными характеристиками, полученными на этапе обучения, более того, число классов строго ограничено. Кластеризация – разбиение множества типов летательных аппаратов на кластеры – некоторые подмножества исходного множества объектов, количество и свойства которых заранее неизвестны. Из вышеперечисленных алгоритмов, STC разбивает типы летательных аппаратов на неопределенное число кластеров, остальные – требуют задания количества кластеров.

Следующим свойством, в соответствии с которым будем различать алгоритмы, является тип используемых характеристик типов летательных аппаратов.

Введем понятие центроида кластера – вектора, который вычисляется как среднее арифметическое векторов всех типов летательных аппаратов.

Метод LSA/LSI известен достаточно давно как способ поиска латентных связей и применяется в различных сферах науки, основан на принципах факторного анализа и может помочь выявить латентную структуру явлений или объектов. К достоинствам LSA/LSI можно отнести ненадобность обучения. Недостатками являются значительная вычислительная сложность и, в общем случае, отсутствие имен главных факторов, то есть названий кластеров.

На сегодняшний день K-means – самый популярный алгоритм, основанный на последовательной стабилизации центроидов кластеров. Метод состоит из нескольких шагов: выбор начальных центроидов, распределение всех типов летательных аппаратов по кластерам в зависимости от ближайшего центроида, пересчет центроидов кластеров согласно новому разбиению. Алгоритму требуется время порядка $O(n)$, где n – количество летательных аппаратов. Это и является основным достоинством метода K-средних. Также, алгоритм не нуждается в обучении и достаточно универсален. Недостатком является необходимость задания числа кластеров.

Таким образом, можно сформулировать основные требования к алгоритму кластеризации типов летательных аппаратов:

- сложность не выше $O(n)$;
- отсутствие потребности предопределять количество кластеров;
- возможность работы без предварительного обучения;
- интерпретируемость результатов.

Поставленная задача не может быть решена за полиномиальное время, поэтому применение классических алгоритмов не является целесообразным. В то же время сложность проблемы позволяет прибегнуть к методам машинного обучения. В данной работе предложено использовать генетический алгоритм для решения проблемы кластеризации в указанной выше постановке.

Генетический алгоритм – эвристический алгоритм поиска, который эффективно применяется для решения задач оптимизации и моделирования путем случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе. Этот метод был предложен Дж. Холландом в качестве мощного инструмента оптимизации. Генетический алгоритм относится к классу методов машинного обучения без учителя.

Для применения генетического алгоритма задача должна быть поставлена так, чтобы возможно было представить решение в виде вектора генов – генотипа. Классический генетический алгоритм обычно работает с генотипами фиксированной длины.

Существуют различные методики построения начальной популяции (множества решений). К ним относятся так называемые, стратегия «одеяла», стратегия «дробовика» и фокусировки. Способ «одеяла» представляет собой формирование популяции, которая содержит все возможные решения. Для использования стратегии «дробовика» необходимо рассматривать достаточно большое случайное подмножество решений. Фокусировка заключается в вариации одного наиболее вероятного решения.

Степень приспособленности каждого генотипа, также называемого особью, оценивается с помощью фитнес-функции. Данный механизм показывает, насколько хорошо объект, описываемый генотипом, решает предложенную задачу. Таким образом, генетический алгоритм направлен на оптимизацию фитнес-функции (функции приспособленности, целевой функции)²⁴².

Далее популяция подвергается преобразованиям с помощью генетических операторов. В первую очередь, для отбора наиболее приспособленных особей применяется оператор селекции. Существуют различные вариации: селекция с помощью рулетки, турнирная селекция, ранжирование. Для использования метода рулетки необходимо построить распределение вероятности выбора

²⁴²Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. Москва, ООО Издательская фирма "Физико-математическая литература", 2010. 366 с.

конкретной особи для селекции. Обычно используется отношение фитнес-функции выбранной особи к суммарному значению фитнес-функции на всей популяции.

Следующий этап классического генетического алгоритма – применение оператора мутации. Идея данного шага заключается в предотвращении сходимости алгоритма к локальному оптимуму. По аналогии с миром животных, вероятность мутации, как правило, довольно низка. Самый распространенный вариант описываемого оператора – вариация случайного гена особи. Например, при двоичном кодировании – инверсия случайного бита.

Последним шагом является проверка критерия останова. В качестве такого условия можно выбрать, например, количество итераций, или поколений. Если известна какая-либо информация об исследуемом объекте, рабочим вариантом является сравнение фитнес-функции с какой-либо предварительной оценкой.

Самой сложной с точки зрения объема вычислений частью генетического алгоритма является нахождение фитнес-функции. Однако, принимая во внимание факт независимости вычисления функции приспособленности на разных особях, стоит отметить, что использование параллельных вычислений на данном этапе весьма рационально.

Итак, поскольку одной из задач данной части исследования является оптимизация классического генетического алгоритма, перейдем к рассмотрению внесенных модификаций и синтезу алгоритма, соответствующего основным требованиям, предъявленным выше.

Для четкого понимания необходимости изменения классической структуры генетического алгоритма (ГА) рассмотрим положительные и отрицательные стороны ГА и сравним с требованиями, выдвинутыми выше.

К достоинствам ГА можно отнести использование сочетания вероятностного и детерминированного подходов, рассмотрение сразу нескольких точек пространства поиска, а также робастность и устойчивость к локальным оптимумам^{243 244}.

²⁴³ Щербатов И.А., Беляев И.О. Применение кластерного анализа для обработки документов в информационно-поисковой системе // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. № 2. С. 161-166.

²⁴⁴ Das A.K., Pratihar D.K. A Directional Crossover (DX) Operator for Real Parameter Optimization Using Genetic Algorithm // Applied Intelligence. 2019. V. 49, Iss. 5, P. 1841-1865. DOI: 10.1007/s10489-018-1364-2.

Основными недостатками являются высокая сложность в случае использования нетривиальной фитнес-функции и возможность отсутствия критически точного результата.

Нетрудно заметить соответствие требованиям к алгоритму кластеризации, указанным выше. Среди рассмотренных алгоритмов сложность $O(n)$ имеет алгоритм k -средних, поэтому для снижения сложности генетического алгоритма будем строить гибрид классического генетического алгоритма и метода K -means – генетический алгоритм k -средних (ГКА)²⁴⁵.

Пусть $\{x_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ – множество объектов и x_{ij} – j -й признак объекта x_i . Для $i = 1, 2, \dots, n$ и $k = 1, 2, \dots, K$ определим

$$w_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если объект } i \text{ принадлежит кластеру } k; \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Таким образом, матрица $W = \|w_{ik}\|$ обладает следующим свойством:

$$w_{ik} \in \{0,1\} \text{ и } \sum_{k=1}^K w_{ik} = 1 \quad (1)$$

Пусть $c_k = (c_{k1}, c_{k2}, \dots, c_{kd})$ – центроид k -го кластера (d – размерность пространства), причем

$$c_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n w_{ik} x_{ij}}{\sum_{i=1}^n w_{ik}} \quad (2)$$

Далее, введем такие понятия как внутрикластерное расстояние (3) и совокупное внутрикластерное расстояние (4):

$$S^{(k)}(W) = \sum_{i=1}^n w_{ik} \sum_{j=1}^d (x_{ij} - c_{kj})^2, \quad (3)$$

$$S(W) = \sum_{k=1}^K S^{(k)}(W). \quad (4)$$

Величина (4) также известна как квадратичная ошибка. Согласно построению, основной задачей является нахождение матрицы $W^* = \|w_{ik}^*\|$, минимизирующей $S(W)$, то есть

$$W^* = \arg \min_W S(W). \quad (5)$$

Такой выбор меры обусловлен тем, что алгоритм k -средних является наиболее популярным методом минимизации именно квадратичной ошибки.

Теперь рассмотрим способ кодирования объектов, формирование начальной популяции и генетические операторы.

²⁴⁵ Бондарев Я. А. Кластеризация текстовых документов на основе генетического алгоритма // Материалы XXVI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов - 2019". Севастополь: 2019.

Кодирование. В нашем случае пространством поиска являются все матрицы W , удовлетворяющие условию (1). Будем использовать K -арный код, то есть представление в виде строки s_W длины n , содержащую числа из множества $\{1, 2, \dots, K\}$. Согласно построению, каждый символ строки присваивает метку кластера объекту x_i . Такой код однозначно декодируем благодаря (1).

Инициализация. Предлагается начальную популяцию P_0 строить случайно. То есть для каждой особи каждый ген выбирается случайно из $\{1, 2, \dots, K\}$. Однако, необходимо учитывать корректность полученных строк. Например, код «1111222233333» для $K=4$, то есть кластер с меткой «4» остался пустым. В таком случае необходимо корректировать неверные строки – заменять случайные символы на отсутствующие метки кластеров.

Селекция. Для проведения селекции будем использовать стратегию колеса рулетки. Формально распределение вероятности выглядит следующим образом:

$$P(s_i) = \frac{F(s_i)}{\sum_{j=1}^N F(s_j)}, \quad (6)$$

где $F(s_i)$ – значение фитнес-функции на особи s_i .

Поскольку задачей является минимизация $S(W)$, а реализация метода рулетки подразумевает максимизацию целевой функции, определим некоторые вспомогательные функции.

Пусть $f(s_W) = -S(W)$, $g(s_W) = f(s_W) - (\bar{f} - c \cdot \sigma)$, где \bar{f} и σ – среднее значение и среднеквадратическое отклонение $f(s_W)$ на текущей популяции соответственно, а $c \in [1, 3]$ – константа. Таким образом, мера приспособленности особи s_W выражается как:

$$F(s_W) = \begin{cases} g(s_W), & \text{если } g(s_W) \geq 0, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (7)$$

Мутация. В общем случае – мутация исключительно стохастический процесс, однако, учитывая особенности задачи, можно повысить степень сходимости алгоритма, добавив некоторую долю детерминизма. Основываясь на этой идее, определим оператор мутации так, чтобы вероятность присвоения гену метки определенного кластера была тем выше, чем ближе описываемый данным геном объект к центроиду кластера:

$$p_j = P\{s_W(i) = j\} = \frac{c_m d_{\max} - d_j}{\sum_{i=1}^K (c_m d_{\max} - d_i)}, \quad (8)$$

где, $d_j = d(x_i, c_j)$ – эвклидово расстояние от объекта x_i до центроида j -го кластера, $d_{\max} = \max_j d_j$, а $c_m \geq 1$ – константа, назначение которой мы рассмотрим позже.

В процессе работы алгоритма могут возникать ситуации, когда кластер состоит из одного и только одного объекта. В таких случаях существует ненулевая вероятность, что описанный выше способ мутации переназначит метку кластера данному объекту, а старый кластер, как следствие, останется пустым. Быстро распознать такие ситуации можно с помощью расстояния от объекта до центроида кластера. Если $d_{S_w(i)} = 0$, то, во избежание появления пустых кластеров, оператор мутации к текущему гену применять нельзя.

Оператор K-Means. Алгоритм, использующий описанные выше операторы селекции и мутации требует большего количества поколений, чем классический генетический алгоритм. Более того, высокая степень возможности мутации способствует приобретению колебательного характера поведения алгоритма. Для улучшения ситуации, вместо оператора рекомбинации, предлагается использование одного шага метода k -средних²⁴⁶. Данный этап состоит из двух шагов:

1. Вычисление центроидов кластеров для W , используя (3);
2. Переопределение принадлежности объекта кластеру путем присвоения объекту метки кластера, центроид которого находится ближе всего. В результате образуется матрица \tilde{W} .

Однако из-за простоты оператора K -средних появляется возможность возникновения пустых кластеров. Возьмем кластер с максимальным внутрикластерным расстоянием и отнесем объект, находящийся дальше всего от центроида, к пустому кластеру, таким образом, решая проблему.

Критерий останова. Эмпирическим путем было установлено, что для сходимости построенного алгоритма необходимо от 8 до 15 поколений. Поэтому в качестве критерия останова предлагается использовать количество поколений, прошедших с момента начала работы алгоритма. Это не снизит качества кластеризации в критических масштабах, но позволит редуцировать необходимое количество вычислений.

²⁴⁶ Бондарев Я. А. Кластеризация текстовых документов на основе генетического алгоритма // Материалы XXVI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов - 2019". Севастополь: 2019.

Итак, рассмотрена модель классического генетического алгоритма и предложена его модификация для максимального приближения к свойствам идеального алгоритма кластеризации.

Для реализации построенной системы использовались язык программирования Python 3.7 и фреймворк PyQt для разработки пользовательского интерфейса. Разработка программы происходила в два этапа: на первом решена задача сбора и предобработки данных, второй этап предполагает построение алгоритма кластеризации типов летательных аппаратов и его интеграции в графический интерфейс.

Стоит отметить, что используемые технологии нацелены на реализацию кроссплатформенной программы.

Первой частью этапа получения данных является получение текста поискового запроса от пользователя. После этого формируются ссылки для поисковых сервисов.

Последним шагом этапа сбора данных является построение матрицы объекты-признаки.

Согласно описанию генетического алгоритма k -средних, пространством поиска являются все матрицы W , удовлетворяющие условию (1).

Рассмотрим оператор селекции, однако для этого потребуется фитнес-функция. Как уже упоминалось, в качестве основы функции приспособленности было выбрано суммарное внутрикластерное расстояние. Более того, было отмечено, что данный этап является наиболее сложным с точки зрения вычислений, поэтому рациональным подходом будет использование технологий параллельных вычислений.

Существует две наиболее распространенных модели параллельных вычислений – использование нескольких потоков (нитей, threads) и нескольких отдельных процессов. Так как для реализации был выбран язык программирования Python 3, то разумно будет рассмотреть особенность работы интерпретатора при выполнении параллельных программ.

В классическом интерпретаторе языка Python 3, CPython, заложен механизм под названием Global Interpreter Lock (GIL). GIL – способ синхронизации потоков, который является самым простым лекарством против конфликтов при одновременном обращении разных потоков к одним и тем же участкам памяти. Когда один поток захватывает область памяти, GIL блокирует остальные. Сама блокировка происходит по принципу мьютекса. Таким образом, при

использовании потоков происходит достаточно сильное ограничение параллельности вычислений, поэтому будем использовать потоки с помощью объекта Pool пакета multiprocessing ЯП Python 3. Данный инструмент позволяет выполнять параллельно функцию высшего порядка map.

После нахождения фитнес-функции можно приступить к реализации оператора селекции. Селекция производится на основе метода рулетки.

Реализация оператора мутации. Данный шаг алгоритма был модифицирован таким образом, что в каждой мутирующей особи меняется каждый ген в зависимости от расстояния между объектом, соответствующим гену, и ближайшим центроидом кластера. При этом возрастает количество вычислений. Было принято решение выполнять мутацию с использованием нескольких процессов. Пусть $d_{s_W(i)}$ – расстояние от i -го объекта (x_i) до центроида кластера $s_W(i)$, где s_W – особь популяции.

Рассмотрим теперь оператор k -средних. Он состоит из двух шагов: нахождение центроидов кластеров и переназначение меток объектов в случае, если центроид текущего кластера не является ближайшим для выбранной точки. На данном этапе некорректные строки возникают наиболее часто. Более того, оператор k -средних является завершающим в итерации вычислений. Поэтому исправлять некорректные строки будем после применения оператора. Для этого определим множество кластеров, которые остались пустыми и присвоим объектам из кластера с наибольшим внутрикластерным расстоянием метки пустых кластеров.

Оценим результаты работы кластеризации. Для сравнения скорости сходимости классического ГА и ГКА был проведен эксперимент. В результате была установлена следующая зависимость квадратичной ошибки от количества итераций (рис. 4.3)²⁴⁷.

²⁴⁷ Бондарев Я. А. Кластеризация текстовых документов на основе генетического алгоритма // Материалы XXVI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов - 2019". Севастополь: 2019.

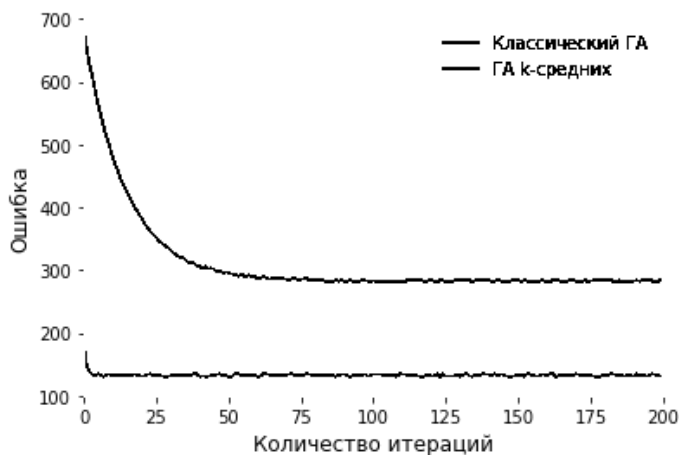


Рисунок 4.3 – Численная демонстрация глобальной сходимости ГА и ГКА

Интерфейс построенной системы состоит из окна, в котором есть поле для ввода запроса, названия групп – результатов кластеризации и, непосредственно, ссылки – результаты поиска в сети интернет. С помощью панели меню окна можно установить параметры (количество кластеров, вероятность мутации, размер исходной популяции), сохранить результаты поиска в формате JSON.

Таким образом, рассмотрена процедура построения программной реализации предложенного алгоритма и интеграции его в единую систему. Программа имеет графический интерфейс, проста в настройке и использовании. Результаты кластеризации оценены и удовлетворяют требованиям исследуемой задачи. В качестве важнейшей задачи дальнейших исследований в данном направлении целесообразно предложить методику формирования оптимального количества кластеров типов летательных аппаратов в зависимости от конкретной решаемой задачи. Сформулирована проблема кластеризации, рассмотрены возможные пути её решения. Произведен обзор и сравнительный анализ существующих методов кластеризации типов летательных аппаратов.

В работе модифицирован генетический алгоритм K-средних для проведения кластеризации типов летательных аппаратов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе осуществлён анализ основных методов и подходов дистанционной диагностики состояния виноградных агроценозов, которые могут быть положены в основу системы непрерывной диагностики состояния основных терруаров виноградников Крыма и Юга России.

Реализация комплексного информационно-навигационного обеспечения и мониторинга территорий обеспечит устойчивое развитие сельскохозяйственного региона за счет повышения эффективности получения оперативной и достоверной информации относительно посевов наркосодержащих растений, подготовки информации в агрегированном непротиворечивом и наглядном виде, комплексной обработки данных ДЗЗ, результатов наземных наблюдений и измерений, поддержки принятия управленческих решений администрацией субъекта России. Предлагаемый ЦСМ СХ позволяет делать компоновку элементов технологической цепочки мониторинга территорий из готовых технических решений, а в случае отсутствия таковых, создавать новые. Основные принципы, структура, назначение и задачи, решаемые базовыми модулями этой системы обоснованы. Осуществлена экспериментальная проверка сформулированных в работе предложений.

Следует отметить, что виртуальную среду целесообразно строить на базе университетских центров обработки данных, построенных по новым принципам, основанных на инновационном инженерном решении, позволяющем ее масштабировать и подключать новых участников по мере необходимости, не требуя дополнительных инвестиций.

Работы в рамках данного исследования могут найти свое продолжение на базе создаваемых при университетах Центрах космических услуг. В качестве полученных или ожидаемых результатов целесообразно выделить следующие:

– концептуально обоснована необходимость использования геоинформационных технологий на базе отечественных результатов космической деятельности в осуществлении мониторинга сельскохозяйственных территорий регионов Юга России для обеспечения устойчивого развития сельскохозяйственных регионов;

– обоснована необходимость управления устойчивым развитием сельскохозяйственного региона на основе применения комплексного информационно-навигационного обеспечения и мониторинга территорий;

– разработаны структура системы мониторинга крупного сельскохозяйственного региона, определены задачи, решаемые данной системой, а также осуществлена экспериментальная проверка разработанных положений на макетах, созданных на базе отечественной геоинформационной системы КОСМОС.

Таким образом, применение спутниковых технологий наблюдения позволит создавать новые информационные технологии и системы для наблюдения и изучения различных процессов, происходящих в биогеоценозах и агроценозах. В то же время следует отметить, что изучение различных видов агроценозов имеет свою специфику, которая требует создания специализированных информационных систем, позволяющих обеспечивать получение и анализ однородной по времени и пространству информации. Особенно это важно в том случае, когда речь идет об изучении виноградных агроценозов, поскольку их важнейшими элементами являются многолетние растения и почвы, обеспечивающие получение урожая. В этом случае необходимо создавать специальные информационные технологии наблюдения таких объектов, что позволит в перспективе формировать однородные по времени и пространству ряды наблюдений и обеспечивать возможность проведения анализа, обладающего высокой степенью достоверности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агрохимические методы исследования почв. — М.: Наука, 1975. — 656 с.
2. Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. — М.: Изд.-во Моск. ун-та, 1989. — 336 с.
3. Безбородов В.Г. Состояние и перспективы использования результатов космической деятельности в интересах модернизации экономики Российской Федерации и развития её регионов / В.Г. Безбородов, М.А. Лукьященко, В.А. Заичко, М.П. Симонов, А.Н. Жиганов. — М.: Энцитех, 2014. — 320 с.
4. Блохина С. Ю. Применение дистанционного зондирования в точном земледелии // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 5.
5. Бондарев Я. А. Кластеризация текстовых документов на основе генетического алгоритма // Материалы XXVI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов - 2019". Севастополь: 2019.
6. Бродский Л., Бушуев Е.И., Волошин В.И., Козлова А.А., Паршина О.И., Попов М.А., Саблина В.И., Сахацкий А.И., Сиротенко А.В., Соукап Т., Станкевич С.А., Тарарико А.Г. Проект ITAS по разработке автоматизированной технологии классификации земных покрытий: научные задачи, основные результаты и перспективы // Космічна наука і технологія. 2009. Т. 15. №2. С. 36-48.
7. Булгаков Д.С. Агроэкологическая оценка пахотных почв. — М.: РАСХН, 2002. — 251 с.
8. Бындыч, Т. Ю. Современные подходы к дистанционной фитоиндикации состояния почвенного покрова [Текст] / Т. Ю. Бындыч, Л. П. Коляда, С. Р. Трускавецкий // Почвоведение и агрохимия. — 2015. — № 2 (55). — С. 30–38.
9. Воробьева Л.А., Панкова Е.И. Природа щелочности и диагностика щелочных почв аридных и семиаридных территорий //Агрохимия, 1995, № 1. — С. 108-114.
10. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. Москва, ООО Издательская фирма "Физико-математическая литература" , 2010. 366 с.
11. ГОСТ 17.4.4.02-83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.
12. Градусов Б.П. Глинистые минералы основных типов почв земледельческих областей СССР (состав, генезис, преобразования): Автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук. М., 1980. 40 с.
13. Гришин И.Ю. Актуальные проблемы оптимизации управления в технических и экономических системах: Монография / И.Ю. Гришин. Ялта: РИО КГУ, 2010. 252 с.

14. Гришин И.Ю. Оптимизация управления многопозиционным радиолокационным комплексом // Тезисы докладов 2-й Всесоюзной научно-технической конференции по распространению миллиметровых радиоволн. Туапсе, 1991. С. 48–49.
15. Гришин И.Ю., Тимиргалеева Р.Р. Разработка методологии обеспечения эколого-экономической безопасности туристско-рекреационных регионов юга России на основе результатов космического мониторинга // Материалы III всероссийской научной конференции «Экология и космос» имени академика К.Я. Кондратьева (Санкт-Петербург, 08 февраля 2017-09 февраля 2018 г.). – 2017, С. 170–174.
16. Гурьянова Л.В. Использование ГИС и данных дистанционного зондирования для мониторинга застроенных территорий // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 2. 2008. №3. С. 107-112.
17. Дергачева М.И. Гумусовая память почв // Память почв: Почва как память биосферно-геосферноантропосферных взаимодействий / отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 530–560.
18. Добровольский Г.В., Трофимов С.Я. Систематика и классификация почв (История и современное состояние). М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. 78 с.
19. Добровольский Г.В., Шоба С.А. Растровая электронная микроскопия почв. М.: Изд-во МГУ, 1978. 144 с.
20. Докучаев В.В. Об исследовании С.-Петербурга и его окрестностей // Соч.: в 7 т. М.: Изд-во АН СССР. 1953. Т. VII. С. 445–478.
21. Дринча В. М. Перспективные направления агроинженерных исследований для непрерывного устойчивого ведения сельского хозяйства. М.: ВИМ, 2004. 80 с.
22. Егоров В.В., Фридланд В.М., Иванова Е.Н. и др. Классификация и диагностика почв СССР. — М.: Колос, 1977. — 224 с.
23. Ергина Е.И. Динамика термодинамических свойств и запасов энергии в гумусе почв Крымского полуострова // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2012. Т. 8. Вып. 1–2. С. 62–72.
24. Ергина Е.И. Пространственно-временные закономерности процессов современного почвообразования на Крымском полуострове. Симферополь: АРИАЛ, 2017. - 224 с.
25. Ергина Е.И., Черный С.Г. Количественные аспекты моделирования процесса почвообразования почв Крыма // Уч. зап. Таврического национального ун-та им. В.И. Вернадского. 2011. Т. 24(63). № 2. Ч. 3. Сер. география. С. 67–72.
26. Земельные ресурсы СССР. Ч.1. Природно-сельскохозяйственное районирование территорий, областей, краев, АССР и республик. — М.: ГИЗР, 1990. — 261 с.
27. Зенкина О.Н., Симонов Н.А. Применение генетических алгоритмов в вопросах оптимизации информационных процессов // Актуальные проблемы

гидролитосферы (диагностика, прогноз, управление, оптимизация и автоматизация). Сборник докладов. 2015. С. 315-323.

28. Иванов А. И, Лекомцев П. В. Методология мониторинга неоднородности состояния мелиорированных земель на основе развития физико-технической базы адаптивно-ландшафтного земледелия. СПб.: АФИ, 2013. 65 с.

29. Карпов И.К. Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии. Новосибирск: Наука, 1981. 245 с.

30. Картиев С.Б., Курейчик В.М. Разработка и исследование алгоритма решения задачи кластеризации для осуществления вопросно-ответного поиска в информационно-аналитической системе прогнозирования // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 7 (180). С. 18-28.

31. Кирюшин В.И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований//Земледелие, 2013. – № 7. – С. 3-6.

32. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. — М.: Колос, 1996. — 366 с.

33. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.

34. Классификация почв России / сост. Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.Н. Лебедева. М., 2000. 235 с.

35. Когут Б.М. Принципы и методы оценки содержания трансформируемого органического вещества в пахотных почвах // Почвоведение, 2003, № 3. — С. 308-316.

36. Козубенко И. С., Савин И. Ю. Спутниковые данные в управление агропромышленным комплексом региона // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 5. С. 9–11.

37. Коменданова Т.М., Имескенова Э.Г., Абгалдаев Ю.В. Применение методов дистанционного зондирования для мониторинга почвенно-растительного покрова Кабанского района республики Бурятия // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2015. №3(40). – С. 63-68.

38. Кравцова В.И. Космические методы исследования почв. Москва. 2005. 190 с.

39. Кулик К. Н., Кошелев А. В. Методическая основа агролесомелиоративной оценки защитных лесных насаждений по данным дистанционного мониторинга // Лесотехнический журнал. 2017. № 3. С. 107–114.

40. Курачев В.М. Минеральная основа почвенного поглощающего комплекса. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 227 с.

41. Лисецкий Ф.Н., Ергина Е.И. Развитие почв Крымского полуострова в позднем голоцене // Почвоведение. 2010. № 6. С. 643–657.

42. Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В., Крашенинникова Ю.С. Технологии построения информационных систем

дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 1. С.26-43.

43. Лупян Е.А., Саворский В.П., Шокин Ю.И., Алексанин А.И., Назиров Р.Р., Недолужко И.В., Панова О.Ю. Современные подходы и технологии организации работы с данными дистанционного зондирования Земли для решения научных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т.9. № 5. С.21-44.

44. Маргулис В.Ю. Количественная оценка засоленности почв для промывок засоленных земель // Почвы крупнейших ирригационно-мелиоративных систем в хлопкосеющей зоне: Науч.тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1975. С. 3-78.

45. Медведев В. В. Мониторинг почв Украины. Концепция. Предварительные результаты. Задачи. Харьков. 2002. 428 с.

46. Медведев В.В., Лактионова Т.Н. Анализ опыта Европейских стран в проведении мониторинга почвенного покрова (Обзор). Киев. 2012.

47. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / Под ред. Л. М. Державина, Д. С. Булгакова. М., 2003. 240 с.

48. Методическое пособие и нормативные материалы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия. / Под ред. А.Н. Каштанова, А.П. Щербакова, Г.Н. Черкасова. — Курск, Тверь: Чудо, 2001. — 260 с.

49. Михайленко И. М., Тимошин В. Н. Управление химическим состоянием почв на основе данных дистанционного зондирования Земли // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 1(13). С. 63–74.

50. Музылев Е. Л., Старцева З. П., Успенский А. Б., Волкова Е. В., Василенко Е. В., Кухарский А. В., Зейлигер А. М., Ермолаева О. С. Использование данных дистанционного зондирования для моделирования водного и теплового режимов сельских территорий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 108–136.

51. Музылев Е. Л., Успенский А. Б., Старцева З. П., Волкова Е. В. Моделирование гидрологического цикла речных водосборов с использованием синхронной спутниковой информации высокого разрешения // Метеорология и гидрология. 2002. № 5. С. 68–82.

52. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федеральный закон от 30.03.99 № 52–ФЗ // Собрание законодательства РФ. 1999. № 14. Ст. 1650.

53. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2014 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 2015. 206 с.

54. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользователей. — М.: Колос, 1973. — 95 с.
55. Панкова Е.И. Соловьев Д.А., Рухович Д.И., Савин И.Ю. Мониторинг засоления почв орошаемых территорий Центральной Азии с использованием данных дистанционного зондирования. В кн. «Земельные ресурсы и продовольственная безопасность Центральной Азии и Закавказья». Рим: ФАО, 2016. С. 309-369.
56. Панников В.Д., Минеев В.Г. Почва, климат, удобрение и урожай. — М.: Колос, 1977. — 414 с.
57. Паспорт национальной программы "Цифровая экономика Российской Федерации" / Утвержден президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. № 16), 2018. - 90 с.
58. Петрушин А. Ф., Митрофанов Е. П. Опыт использования БПЛА для мониторинга состояния сельскохозяйственных земель. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2015.
59. Погосян Х. П. Воздушная оболочка Земли. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1962. 294 с.
60. Полупан М.І., Соловей В.Б., Величко В.А. Класифікація ґрунтів України. Київ. 2005. 298 сс. (Классификация почв Украины)
61. Полупан М.І., Соловей В.Б., Кисіль В.І., Величко В.А. Визначник еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України. Київ. 2005. 303 сс. (Определитель эколого-генетического статуса и плодородия почв Украины)
62. Почвы в биосфере: сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. 10–14 сентября 2018 г., г. Новосибирск / отв. ред. А.И. Сысо. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. – Ч. I. – 468 с., С.21.
63. Почвы в биосфере: сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. 10–14 сентября 2018 г., г. Новосибирск / отв. ред. А.И. Сысо. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. – Ч. I. – С.79.
64. Природно-сельскохозяйственное районирование земельного фонда СССР. Ред. колл.: В.В. Егоров (отв. ред.), Е.И. Гайдамака, Н.Н. Розов, Д.И. Шашко, В.П. Сотников. — М.: Колос, 1975. — 256 с.
65. Пузаченко Ю.Г., Карпачевский Л.О., Взнуздаев Н.А. Возможности применения информационно-логического анализа при изучении почвы на примере ее влажности // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. М.: Наука, 1970. С. 103–121.

66. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник / Под ред. Я.Д. Ширмана. М.: ЗАО «Маквис», 1998. 828 с.
67. Республика Крым в цифрах. 2017: Крат.стат.сб./Крымстат- С., 2018 - 176 с.
68. Рожков В.А. Классификация почв – не место для дискуссий // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 72. С. 47–64.
69. Рожков В.А., Алябина И.О., Колесникова В.М., Молчанов Э.Н., Столбовой В.С., Шоба С.А. Почвенногеографическая база данных России // Почвоведение. 2010. № 1. С. 3–6.
70. Селяков Л. Я. Из опыта казахской съёмки // Геодезист.1932. № 5. С. 18–26.
71. Семенихин С.В., Денисова Л.А. Автоматизация информационного поиска на базе многокритериальной оптимизации и генетических алгоритмов // Динамика систем, механизмов и машин. 2014. № 3. С. 224-227.
72. Сидько А.Ф., Пугачева И.Ю., Шевырнов А.П. Исследование динамики спектральной яркости посевов сельскохозяйственных культур в период вегетации на территории Красноярского края. // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, 2009. – №2 – С. 100-110.
73. Совместное мобильное позиционирование на основе мощности принимаемого сигнала А.С. Сурк, Р. Саадат, А.А. Тадаион. Международный симпозиум по телекоммуникациям 2008 г., 273-277.
74. Соколов И. А. О базовой классификации почв // Почвоведение. 1978. № 8. С. 113–123.
75. Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск, 2004. 296 с.
76. Соколова Т.А. Глинистые минералы в почвах гумидных областей СССР. Новосибирск: Наука, 1985. 250 с.
77. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск, Наука, 1978, 319 с.
78. Таргульян В.О. Память почв: формирование, носители, пространственно-временное разнообразие // Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий / отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 24–57.
79. Теленик С.Ф., Гришин И.Ю. Анализ современных алгоритмов вторичной обработки информации в статистических измерительных информационных системах // Вестник Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля. 2009. № 1 (131). Ч.2. С.145–155.
80. Тимиргалеева Р.Р., Гришин И.Ю. Цифровые технологии в организации эффективной деятельности финансово-кредитных учреждений // Развитие финансов, бухгалтерского учёта и аудита в современных концепциях управления. Материалы I международной научно-практической конференции. 2018. С. 86-88.

81. Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture) / под общ. ред. Д. Шпаара, А. В. Захаренко, В. П. Якушева. СПб. – Пушкин, 2009. 397 с.
82. Уваров И.А., Барталев С.А. Алгоритм и программный комплекс распознавания типов земного покрова на основе локально-адаптивной обучаемой классификации спутниковых изображений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т.7. № 1. С.353-365.
83. Федеральный закон Российской Федерации «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» от 16 июля 1998 г. № 101-ФЗ.
84. Фридланд В.М. Основные принципы и элементы базовой классификации почв и программа работы по ее созданию. М., 1982. 149 с.
85. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. — М.: Мысль, 1972. — 424 с.
86. Центр агрохимической службы «Крымский». URL: <http://agrohim82.ru/news/osnovnyienapravleniya-povyisheniya-effektivnosti-zemlepolzovaniya-respubliki-kryim>
87. Чекина А.В. Генетическая кластеризация технической документации в проектном репозитории САПР // Тринадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. Труды конференции. 2012. С. 82-89.
88. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М.: Бинوم, 2006. 752 с.
89. Шеин Е. В., Рыжова И. М. Математическое моделирование в почвоведении. Учебник. М.: «ИП Маракушев А. Б.», 2016. – 377 с.
90. Шеин Е.В. Курс физики почв: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с.
91. Шишов Л.Л., Карманов И.И., Дурманов Д.Н. Критерии и модели плодородия почв. — М.: ВО «Агропромиздат», 1987. — 184 с.
92. Шишов Л.Л., Лебедева И.И., Тонконогов В.Д. Классификация почв России и перспективы ее развития // Почвоведение: история, социология, методология. Памяти основателя теоретического почвоведения В.В. Докучаева. М.: Наука, 2005. С. 272–279.
93. Щербатов И.А., Беляев И.О. Применение кластерного анализа для обработки документов в информационно-поисковой системе // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. № 2. С. 161-166.
94. Яковлев А. С., Гендугов В. М., Глазунов Г. П., Евдокимова М. В., Шулакова Е. А. Методика экологической оценки состояния почвы и нормирование ее качества // Почвоведение. 2009, № 8, с. 984–995.
95. Якушев В. В. Точное земледелие: теория и практика. СПб.: АФИ, 2016. 364 с.
96. Якушев В. П. На пути к точному земледелию. СПб.: ПИЯФ РАН, 2002. 458 с.

97. Якушев В. П., Канаш Е. В., Конев А. В., Ковтюх С. Н., Лекомцев П. В., Матвеев Д. А., Петрушин А. Ф., Якушев В. В., Буре В. М., Осипов Ю. А., Русаков Д. В. Теоретические и методические основы выделения однородных технологических зон для дифференцированного применения средств химизации по оптическим характеристикам посева: практическое пособие. СПб.: АФИ, 2010. 60 с.
98. Якушев В. П., Якушев В. В. Математические модели и методы реализации информационно-технологических приемов в точном земледелии // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2008. № 4. С. 56–60.
99. Anastasiou E., Balafoutis A., Darra N. Satellite and Proximal Sensing to Estimate the Yield and Quality of Table Grapes // Agriculture-Basel, V. 8, Iss 7, paper # 94, Jul 2018.
100. Apan et al., 2004 A. Apan, A. Held, S. Phinn, J. Markley Detecting sugarcane ‘orange rust’ disease using EO-1 Hyperion hyperspectral imagery International Journal of Remote Sensing, 25 (2) (2004), pp. 489-498.
101. Application of GIS and Remote Sensing Techniques in Multitemporal Analyses of Soil Properties in the Foreland of the Carpathians. Ewa Glowienka¹, Krystyna Michalowska², Agnieszka Pekala³ and Beata Hejmanowska
102. Assefa M. Melesse, Qihao Weng, Prasad S. Thenkabail, and Gabriel B. Senay. Remote Sensing Sensors and Applications in Environmental Resources Mapping and Modelling // Sensors 2007. 7(12). P. 3209-3241.
103. Author links open overlay panel Santhosh K Seelan Soizik Laguette Grant MCasady George A Seielstad. Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. Remote Sensing of Environment. Volume 88, Issues 1–2, 30 November 2003, Pages 157-169.
104. Baker. Matthew. E. ;. Barnes. Burton. V. 2000. Diversity in riparian landscapes. In: Verry. J. L.; et al., eds. Riparian management in forests of the continental.
105. Bansal A. K., Murthal P. A., Wiart R. J. An evaluation of landsat thematic mapper data for reforestation monitoring in British Columbia // Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Vol. 19, № 3, 1991 – pp. 163-174.
106. Barker, J. L. Landsat – 7 Mission and Early Results [Text]: conference / J. L. Barker, S. K. Dolan, P. A. Sabelhaus, D. L. Williams, J. R. Irons, B. L. Markham et. al. // Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites III. – 1999. doi: 10.1117/12.373220
107. Barnes E. M., Baker M. G. Multispectral data for soil mapping: possibilities and limitations // ASAE Paper. 1999. № 99. pp. 1138–1153.
108. Bartalev S.A., Belward A.S., Erchov D.V., Isaev A.S. A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia. // International Journal of Remote Sensing, Vol. 24, No. 9, 2003 – pp. 1977-1982.

109. Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Khvostikov S.A. A new locally-adaptive classification method LAGMA for large-scale land cover mapping using remote-sensing data // *Remote Sensing Letters*, 2014. 5(1). P.55-64.
110. Bartholome E., Belward A. S. GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth Observation data. // *International Journal of Remote Sensing*, 26(9), 2005 – pp. 1959-1977.
111. Ben-Dor E, Kindel B, Goetz A F H. 2004. Quality assessment of several methods to recover surface reflectance using synthetic aperture radar (SAR) data. *Remote Sens Environ.* 90: 389–400
112. Bonfante A., Basile A., Langella G., Terribile F. A physically oriented approach to analysis and mapping of terroirs // *Geoderma*, V. 167-68, PP. 103-117, Nov 2011. DOI: 10.1016/j.geoderma.2011.08.004
113. Bonfante, A., Terribile, F., and Bouma, J.: Refining physical aspects of soil quality and soil health when exploring the effects of soil degradation and climate change on biomass production: an Italian case study, *SOIL*, 5, 1-14, <https://doi.org/10.5194/soil-5-1-2019>, 2019.
114. Bonfante, A., Terribile, F., and Bouma, J.: Refining physical aspects of soil quality and soil health when exploring the effects of soil degradation and climate change on biomass production: an Italian case study, *SOIL*, 5, 1-14, <https://doi.org/10.5194/soil-5-1-2019>, 2019.
115. Bonfante, A., Terribile, F., and Bouma, J.: Refining physical aspects of soil quality and soil health when exploring the effects of soil degradation and climate change on biomass production: an Italian case study, *SOIL*, 5, 1-14, <https://doi.org/10.5194/soil-5-1-2019>, 2019.
116. Braun Von, J & Mirzabaev, Alisher. Land Use Change and Economics of Land Degradation in the Baltic Region. *Baltic Region*. 2016, № 8. 33-44. 10.5922/2079-8555-2016-3-3.
117. Chavez, Jr, Pat. Image-Based Atmospheric Corrections – Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 62 (1996). p. 1025–1036.
118. Chen S., Rao P. Land degradation monitoring using multi-temporal Landsat TM/ETM data in a transition zone between grassland and cropland of northeast China. // *International Journal of Remote Sensing*, Vol.29, №7, 2008 – pp. 2055-2073.
119. Chervan' A. The assessment of resource potential of agro-landscapes with use of geo-information systems on the basis of soil cover structure // *The Proceedings of the 10th International Soil Science Congress on “Environment and Soil Resources Conservation”*. 2018. p. 19.
120. Cihlar J., Xiao Q., Beaubien J., Fung K., Latifovic R. Classification by progressive generalization: a new automated methodology for remote-sensing multi-channel data. // *International Journal of Remote Sensing*, vol.19, 1998 – pp.2685-2704.

121. Das A.K., Pratihari D.K. A Directional Crossover (DX) Operator for Real Parameter Optimization Using Genetic Algorithm // *Applied Intelligence*. 2019. V. 49, Iss. 5, P. 1841-1865. DOI: 10.1007/s10489-018-1364-2.
122. Daughtry C. S. T., Bausch W. C. Remote- and Ground-Based Sensor Techniques to Map Soil Properties // *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 2003. Vol. 69. № 6. pp. 619–630.
123. Dobos, E., Carré, F., Hengl, T., Reuter, H.I., Tóth, G., 2006. Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg.
124. Drosos M., Piccolo A. The molecular dynamics of soil humus as a function of tillage // *Land Degradation & Development*. 2018. Volume 29, Issue 6. Pages 1792-1805.
125. Dunham S., Fonstad M., Anderson S., Czajkowski K. Using multi-temporal satellite imagery to monitor the response of vegetation to drought in the Great Lakes region. // *GIScience & Remote Sensing*, 42, №3, 2005 – p.185-201.
126. Ehsani, A.H. and F., Quiel, 2009. A semi-automatic method for analysis of landscape elements using shuttle radar topography mission and landsat ETM+ data. *Computers & Geosciences*, 35: 373-389.
127. Elbasiouny H. Assessment of Environmental Sensitivity to Desertification, Soil Quality and Sustainability in An Area of The North Nile Delta, Egypt // *J. Soil. Sci.* 2018. Vol. 58, No. 4, pp. 399-415.
128. Foody G.M. Approaches for the production and evaluation of fuzzy land cover classifications from remotely-sensed data. // *International Journal of Remote Sensing*, vol.17, 1996 – pp.1317-1340.
129. Foody G.M. Sharpening fuzzy classification output to refine the representation of sub-pixel land cover distribution. // *International Journal of Remote Sensing*, vol.19, 1998 – pp.2593-2599.
130. Fox G. A., Sabbagh G. J. Estimation of soil organic matter from red and near-infrared remotely sensed data using a soil line Euclidian distance technique // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2002. № 66. pp. 1922–1928.
131. Gholizadeh M.H., Melesse A.M., Reddi, L. A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques // *Sensors*. – 2018. Vol. 16(8).
132. Glinushkin A.P., Kudiyarov V.N., Sokolov M.S., Zinchenko V.E., Chernenko V.V. Nature-Similar Technologies of the Biogeosystem Technique in Solving a Global Social and Environmental Problem // *Biogeosystem Technique*. Vol. 5(2). 2018. pp. 164-196.
133. Gomez, C., Ozbudak, E.M., Wunderlich, J., Baumann, D., Lewis, J., and Pourquié, O. Date: 2008. Source: *Nature* 454(7202): 335-339 (Journal) Generate reference.
134. Grishin I., Timirgaleeva R. The application of artificial intelligence methods for forming industry management systems // *CEUR Workshop Proceedings*. 1. Сер.

"Selected Papers of the 1st International Scientific Conference Convergent Cognitive Information Technologies, Convergent 2016. – 2016. P. 115-120.

135.Grishin I., Timirgaleeva R. The Digital Economy of the Region: a Distributed Infrastructure of the Industry Ecosystem // Conference of Open Innovations Association, FRUCT. 2019. V.24. P. 624-631.

136.Grishin I.Y and Timirgaleeva R.R. "Air navigation: Optimisation control of means cueing of the air-traffic control system", Conference of Open Innovation Association FRUCT, 2018, pp. 134–140.

137.Guevenc, Ismail, Koothifar, Farshad, Singh, Simran, Sichitiu, Mihail, Matolak, David. Detection, Tracking, and Interdiction for Amateur Drones // IEEE Communications Magazine, Apr 2018, v. 56, iss. 4, PP. 75–81. Doi 10.1109/MCOM.2018.1700455.

138.H. Wang, Z. Song, and R. Wen. Modeling Air Traffic Situation Complexity with a Dynamic Weighted Network Approach. Journal of Advanced Transportation, 2018, article number UNSP 5254289.

139.Hall A. Remote Sensing Application for Viticultural Terroir Analysis // Elements, V. 14, Iss. 3, PP. 185-190, Jun 2018, DOI: 10.2138/gselements.14.3.185

140.Hansen M., Dubayah R., Defries R. Classification trees: an alternative to traditional land cover classifiers. // International Journal of Remote Sensing, vol.17, 1996 – pp.1075-1081.

141.Helman D., Bahat I., Netzer Y., Ben-Gal A. Using Time Series of High-Resolution Planet Satellite Images to Monitor Grapevine Stem Water Potential in Commercial Vineyards // Remote Sensing, V. 10, Iss. 10, paper # 1615, Oct 2018. DOI: 10.3390/rs10101615.

142.Huete, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI) [Text] / A. R. Huete // Remote Sensing of Environment. – 1988. – Vol. 25, Issue 3. – P. 295–309. doi: 10.1016/0034-4257(88)90106-x

143.Hulley, G. A new methodology for cloud detection and classification with ASTER data. Geophysical research letters. 35(1) (2008). L16812. p. 1–6.

144.Idso S.B., Jackson R.D., Pinter Jr. P.J., Moran M.S., Reginato R.J. and Hartfield J.L. Normalising the stress–degree–day parameter for environmental variability. // Agricultural Meteorology, 1981. – 24. – P.45–55.

145.Johnson B. Effects of Pansharping on Vegetation Indices. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 3 (2014). p. 507–522.

146.Karpouzli E., Malthus T. The empirical line method for the atmospheric correction of IKONOS imagery, International Journal of Remote Sensing. 24:5 (2010). p. 1143–1150.

147.Kearl, Megan, "Thomson, et al. v. Thompson, et al. (2001)". *Embryo Project Encyclopedia* (2010-09-29). ISSN: 1940-5030 <http://embryo.asu.edu/handle/10776/2059>.

148. Kim, Hong-Bae. Identification of Key Elements for Stable Flight of Drones and Horizontal Space Compartment in Urban Area // Journal of Korea Planning Association, 2018, v. 53, iss. 7, PP. 39–48.
149. Knyazikhin Y.V., Marshak A.L. Fundamental equations of radiative transfer in leaf canopies, and iterative methods for their solutions. // Photon-Vegetation Interactions, 1991 – pp. 9-43.
150. Krehbiel, C. (2017). How to Convert ASTER L1T Radiance to Top of Atmosphere Reflectance.
https://lpdaac.usgs.gov/user_resources/e_learning/how_convert_aster_l1t_radiance_to_p_atmosphere_reflectance.
151. Krishna K., Narasimha M. Murty Genetic K-Means Algorithm // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1999. V. 3.
152. Kuchment L. S., Startseva Z. P. Sensitivity of evapotranspiration and soil moisture in wheat fields to changes in climate and direct effects of carbon dioxide // Hydrol. Sci. J. 2001. Vol. 36. № 6. pp. 631–643.
153. Kumar J. (2013) Gamification at Work: Designing Engaging Business Software. In: Marcus A. (eds) Design, User Experience, and Usability. Health, Learning, Playing, Cultural, and Cross-Cultural User Experience. DUXU 2013. Lecture Notes in Computer Science, vol 8013. Springer, Berlin, Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-39241-2_58.
154. Kustas W.P., Anderson M.C., Alfieri J.G. The grape remote sensing atmospheric profile and evapotranspiration experiment // Bulletin of the American meteorological society, V. 99, Iss. 9, Sep 2018, PP. 1791-1812.
155. Lai Wei-Hsiang, Lai Ying-Chih, Lan Zao-Sin, Lin Hsiao-Hung, Ho Wei-Kuang. Development of an Internet of Things System Based on Unmanned Aerial Vehicles for the Application of Smart Security from Sky // Journal of Aeronautics Astronautics and Aviation, Jun 2018, v. 50, iss. 2, PP. 135–146. Doi 10.6125/JoAAA.201806_50(2).03.
156. Landsat 7 Science Data Users Handbook [Text] / National Aeronautics and Space Administration. – Report, USGS Unnumbered Series, GIP, Geological Survey (U.S.), 1998. – P. 78–90. – Available at:
http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf
157. Lang, H. and Welch, R. Algorithm Theoretical Basis Document for ASTER Digital Elevation Models (Standard Product AST14). Version 3. ATDB-AST-08, NASA Jet Propulsion Laboratory. Pasadena (1999).
158. Lark R.M. A reappraisal of unsupervised classification, I: correspondence between spectral and conceptual classes. // International Journal of Remote Sensing, vol.16, 1995 – pp.1425-1423.
159. Le Q. B., Nkonya E., Mirzabaev A. Biomass productivity-based mapping of global land degradation hotspots // Economics of Land Degradation and Improvement — A Global Assessment for Sustainable Development. Springer International Publishing, 2016. P. 55—84.

160. Los S.O., Justice C.O., Tucker C.J. A global 1 x 1 degree NDVI dataset for climate studies derived from the GIMMS continental NDVI data. // *International Journal of Remote Sensing*, 1994, №15 – pp. 3493-3518.
161. Matese A., Di Gennaro S.F. // *Agriculture-BASEL*, V. 8, Iss. 7, paper # 116, Jul 2018. DOI: 10.3390/agriculture8070116
162. Metternicht G., Zinck J.A. *Remote Sensing of soil salinization. Impact on land management*. New York, CRC Press, 2009. 307 p
163. Mulder V. L., De Bruin S., Schaepman M. E., Mayr T. R. The use of remote sensing in soil and terrain mapping – A review // *Geoderma*. 2011. Vol. 162. № 1. pp. 1–19.
164. Oguro Y., Suga Y., Takeuchi S., Ogawa H., Tsuchiya K. Monitoring of a rice field using Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM+ data. // *Advances in Space Research*, Vol. 32, №11, 2003 – pp. 2223-2228.
165. Padua L., Marques P., Hruska J., Adao T. Multi-Temporal Vineyard Monitoring through UAV-Based RGB Imagery // *Remote Sensing*, V. 10, Iss. 12, paper # 1907, Dec 2018. DOI: 10.3390/rs10121907
166. Park S.Y., Sur C., Kim J.S., Lee J.H. Evaluation of multi-sensor satellite data for monitoring different drought impacts // *Stochastic environmental research and risk assessment*. – 2017. Vol. 32(9). – P. 2551–2563.
167. Parkinson C. L., Ward A., King (Eds.) M. D. *Earth Science Reference Handbook – A Guide to NASA’s Earth Science Program and Earth Observing Satellite Missions*, National Aeronautics and Space Administration Washington, D. C. (2006).
168. Plotnikov D. E., Kolbudaev P. A., Bartalev S. A. Identification of dynamically homogeneous areas with time series segmentation of remote sensing data // *Computer optics*. – 2018. Vol. 42(3). – P. 447–456.
169. Predictive soil mapping: a review Show all authors P. Scull, J. Franklin, O. A. Chadwick. First Published June 1, 2003 Research Article <https://doi.org/10.1191/0309133303pp366ra>
170. Przewdziecki K., Zawadzki J., Miatkowski Z. Use of the temperature-vegetation dryness index for remote sensing grassland moisture conditions in the vicinity of a lignite open-cast mine // *Environmental Earth Sciences*. – 2018. Vol. 77 (17). AR 623.
171. Published under licence by IOP Publishing Ltd. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 44, Issue 5
172. Qi, J. A modified soil adjusted vegetation index [Text] / J. Qi, A. Chehbouni, A. R. Huete, Y. H. Kerr, S. Sorooshian // *Remote Sensing of Environment*. – 1994. – Vol. 48, Issue 2. – P. 119–126. doi: 10.1016/0034-4257(94)90134-1
173. Reference: Zhang L, et al. (2008) *Spn1 regulates the recruitment of Spt6 and the Swi/Snf complex during transcriptional activation by RNA polymerase II*. *Mol Cell Biol* 28(4):1393-403.
174. Rinza J., Ramirez D.A., Garcia J. Infrared Radiometry as a Tool for Early Water Deficit Detection: Insights into Its Use for Establishing Irrigation Calendars for

Potatoes Under Humid Conditions // Potato Research, V. 62, Iss. 2, PP. 109-122, Jun 2019. DOI: 10.1007/s11540-018-9400-5

175. Rodriguez J.R., Miranda D., Alvarez C.J. Application of Satellite Images to Locate and Inventory Vineyards in the Designation of Origin "Bierzo" in Spain // Transactions of the ASABE / Amer. soc. of agriculture and biol. engineering.-St. Joseph (Mich.), 2006.-Vol. 49, N 1.-P. 277-290.

176. Roerink G.J.; Su Z.; Menenti M. S-SEBI: a simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance. // Phys. Chem. Earth (B)., 2000. – 25. – P.147–157.

177. Ross J. The radiation regime and Architecture of Plant Stands. // 1981, Boston: W. Junk.

178. Ross J., Marshak A.L. Calculation of canopy bidirectional reflectance using the Monte-Carlo method. // Remote Sensing of Environment? Vol.24, 1988 – pp.213-225.

179. Rouse J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. / In S. C. Freden, E. P. Mercanti, & M. Becker (Eds.), Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Technical presentations, section A, vol. I. Washington, DC: NASA SP-351, 1973. – P.309–317.

180. Rouse, J. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS [Text] / J. W. Rouse, R. H. Haas, J. A. Schell, D. W. Deering // Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium, NASA SP-351. – 1973. – Vol. 1. – P. 309–317.

181. Savin I., Prudnikova E., Vasilyeva N., Bairamov A. Seasonal Changes of Tilled Soil Surface as Information Factor for Efficient Soil Mapping Using Remote Sensing Data // Digital soil maps for everyone. 2016. pp. 75.

182. Scudiero, E., Corwin, D. L., and Skaggs, T. H. (2015). Regional-scale soil salinity assessment using landsat ETM+ canopy reflectance. Remote Sens. Environ. 169, 335–343. doi: 10.1016/j.rse.2015.08.026

183. Soil Taxonomy: USDA. Agric. Handbook. Washington, 1975. № 436.

184. Song Y., Zhao X., Li B., Hu Y., Cui X. Predicting Spatial Variations in Soil Nutrients with Hyperspectral Remote Sensing at Regional Scale // Sensors. – 2018. Vol. 18(9).

185. Stevena M. D., Malthusb T. J., Baretc F., Xud H., Choppinge M. J. (2003). Intercalibration of vegetation indices from different sensor systems.

186. Stoney, W. A Guide to the Global Explosion of Land-Imaging Satellites; Markets and Opportunities. 2005.

Tucker C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. // Remote Sensing of Environment, 1979.– 8.– P.127– 150.

187. Teillet, P. M. Radiometric cross-calibration of the Landsat-7 ETM+ and Landsat-5 TM sensors based on tandem data sets [Text] / P. M. Teillet, J. L. Barker, B. L. Markham, R. R. Irish, G. Fedosejevs, J. C. Storey // Remote Sensing of

- Environment. – 2001. – Vol. 78, Issue 1-2. – P. 39–54. doi: 10.1016/s0034-4257(01)00248-6
188. The CEOS database, 2019.
<http://database.eohandbook.com/timeline/timeline.aspx> (дата обращения: 03.09.2019).
189. Thome, K. Radiometric Calibration of Landsat [Text] / K. Thome, B. Markham, J. Barker, P. Slater, S. Biggar // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1997. – Vol. 63, Issue 7. – P. 853–858. – Available at:
http://info.asprs.org/publications/pers/97journal/july/1997_jul_853-858.pdf
190. Van der Meer F. Spectral unmixing of Landsat Thematic Mapper data. // International Journal of Remote Sensing, vol.16, 1995 – pp.3189-3194.
191. Vermote, E., Kotchenova, S. Y., Ray, J. P. MODIS Surface Reflectance User's Guide. Version 1. p. 1–40. (2008).
192. White W.A., Alsina M.M., Nieto H. Determining a robust indirect measurement of leaf area index in California vineyards for validating remote sensing-based retrievals // Irrigation Science, V. 37, Iss. 3, PP. 269-280, May 2019. DOI: 10.1007/s00271-018-0614-8
193. Wu, M., Littleton, T., Bhat, M., Pevsner, J., Bellen, H. (1997). ROP plays both a necessary and an inhibitory role in neurotransmitter release. *A. Dros. Res. Conf.* 38 : 3B.
194. Yao X., Yao X., Jia W., Tian Y., Ni J., Cao W., Zhu Y. Comparison and Intercalibration of Vegetation Indices from Different Sensors for Monitoring Above-Ground Plant Nitrogen Uptake in Winter Wheat. *Sensors*. 13 (2013). pp. 3109–3130.
195. Young N. E., Anderson R. S., Chignell S. M., Vorster A. G., Lawrence R., Evangelista P. H. A survival guide to Landsat preprocessing. *Ecology*. 98 4 (2017). p. 920–932.
196. Zhongming, W. Stratified vegetation cover index: A new way to assess vegetation impact on soil erosion [Text] / W. Zhongming, B. G. Lees, J. Feng, L. Wanning, S. Haijing // CATENA. – 2010. – Vol. 83, Issue 1. – P. 87–93. – doi: 10.1016/j.catena.2010.07.006
197. Zovko M., Zibrat U., Knapic M. Hyperspectral remote sensing of grapevine drought stress // Precision Agriculture, V. 20, Iss. 2, PP. 335-347, Apr 2019. DOI: 10.1007/s11119-019-09640-2.
198. Zribi, O. T., Labidi, N., Slama, I., Debez, A., Ksouri, R., Rabhi, M., et al. (2012). Alleviation of phosphorus deficiency stress by moderate salinity in the halophyte *Hordeum maritimum* L. *Plant Growth Regul.* 66, 75–85. doi: 10.1007/s10725-011-9631-9
199. Zwart S. J., Bastiaanssen W.G.M. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. // *Agricultural Water Management*, 2004. – 69. – P.115–133.

текстовое научное электронное издание

ГРИШИН И.Ю. ТИМИРГАЛЕЕВА Р.Р.

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ
ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ
СОСТОЯНИЯ ВИНОГРАДНЫХ АГРОЦЕНОЗОВ**
монография

Верстка А. Дубровин

Дизайн обложки: Freerik

Оформление электронного издания ООО «ЭЛИТ»

elit-publishing@yandex.ru

Объем издания 161 с. (8,3 усл. п. л.)

Подписано к использованию 08.01.2021 г.