

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И. Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова

Кафедра «Маркшейдерское дело и геодезия»

Калиева Дильнара Ерсыновна

Оценка современного состояния почв Сарыкольского района Костанайской области

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B07304 – Геопространственная цифровая инженерия

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И. Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова

Кафедра «Маркшейдерское дело и геодезия»



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
«Маркшейдерское дело и геодезия»
к.т.н., ассот. профессор
Мейрамбек Г.
« 06 » 2025 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Оценка современного состояния почв Сарыкольского района Костанайской
области»

6B07304 – Геопространственная цифровая инженерия

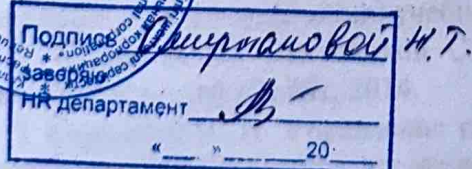
Выполнила

Калиева Д.Е.

Рецензент

к.т.н., ассот. профессор
Омиржанова Ж.Т.
« 06 » 2025 г.

Научный руководитель
доктор PhD, ассот. профессор
Токтар М.
« 05 » 06 2025 г.



Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И. Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова

Кафедра «Маркшейдерское дело и геодезия»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
«Маркшейдерское дело и геодезия»
к.т.н., ассоц. профессор

Мейрамбек Г.

«06» 06 2025 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Калиевой Д.Е.

Тема: «Оценка современного состояния почв Сарыкольского района Костанайской области»

Утверждена приказом проректора по академическим вопросам №26-П/Ө от "29" 01 2025г.

Срок сдачи законченного проекта: «23» 06 2025 г.

Исходные данные к дипломной работе: данные по содержанию и распределению элементов, космические снимки Landsat за 2024 год.

Краткое содержание дипломной работы:

а) Анализ и обработка исходных данных о содержании гумуса, фосфора, калия и азота в почвах Сарыкольского района и расчёт площадей;

б) Расчёт запасов гумуса и баллов бонитета почв по общесоюзной и казахстанской методикам;

в) Расчёт индексов и анализ их влияния на состояние почвы;

г) Разработка карт потребности в удобрениях;

д) Разработка рекомендаций по улучшению состояния почвы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): карта содержания в почве гумуса, азота, калия и фосфора; результаты вычисления индексов NDVI, SAVI, NDWI, BSI, SDI; карты потребности в удобрениях.

Представлены 20 слайдов презентации работы.

Рекомендуемая основная литература: 21.

1 Гафурова Л.А., Алябина И.О., Набиева Г.М., Джапилова Г.Т., Мамбетназаров М.С. ГИС-технологии в почвоведении: учебник. – Ташкент: Donishmand Print, 2019.

2 Казеев К.Ш., Колесников С.И. (отв. ред.) Почвоведение: Учебник для вузов. Москва: Издательство Юрайт, 2014.

3 Кирюшин В. И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // Почвоведение. — 2019.

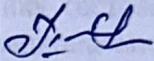
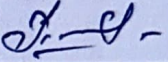
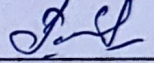
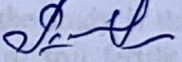
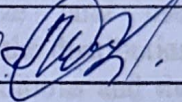
ГРАФИК

подготовки дипломной работы

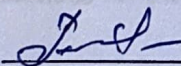
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Теоретические основы оценки состояния почв	10.02.2025	нет
Характеристика Сарыкольского района	24.02.2025	нет
Оценка современного состояния почв	31.03.2025	нет
Деградация почв и рекомендации по их улучшению	25.04.2025	нет

Подписи

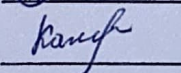
консультантов и норм контролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Теоретические основы оценки состояния почв	М. Токтар доктор PhD, ассоц. проф.	10.02	
Характеристика Сарыкольского района	М. Токтар доктор PhD, ассоц. проф.	24.02	
Оценка современного состояния почв	М. Токтар доктор PhD, ассоц. проф.	31.03	
Деградация почв и рекомендации по их улучшению	М. Токтар доктор PhD, ассоц. проф.	25.04	
Нормоконтролер	Д.М. Киргизбаева доктор PhD, ассоц. проф.	02.06.2025	

Научный руководитель

 Токтар М.

Задание принял к исполнению обучающийся

 Калиева Д.Е.

Дата « 05 » 06 2025 г.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыс Сарыколь ауданының топырақтарының қазіргі жағдайын геоақпараттық технологиялар мен қашықтықтан зондтау деректерін пайдаланып кешенді бағалауды ұсынады. Зерттеу объектісі — Сарыколь ауданының топырақтары. Негізгі мақсат — топырақ құнарлылығының элементтерінің кеңістіктік таралуын және жерлердің деградация деңгейін анықтап, кейіннен жер пайдалануды оңтайландыру. Топырақтың құнарлылық көрсеткіштерін есептеу және элементтер мен индекстердің таралуын көрсететін сандық карталарды жасау топырақ жағдайын кешенді бағалауға және оларды тиімді пайдалану үшін ғылыми негізделген ұсыныстар қалыптастыруға мүмкіндік берді.

АННОТАЦИЯ

В дипломной работе проведена комплексная оценка современного состояния почв Сарыкольского района с использованием геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования. Объектом исследования являются почвы Сарыкольского района. Основной целью является выявление пространственного распределения элементов почвенного плодородия и уровня деградации земель для последующей оптимизации землепользования.

Выполненные расчёты показателей почвенного плодородия и создание цифровых карт распределения элементов и индексов позволили провести комплексную оценку состояния почв и сформулировать научно обоснованные рекомендации по их рациональному использованию.

ABSTRACT

The thesis presents a comprehensive assessment of the current state of soils in the Sarykol district using geoinformation technologies and remote sensing data. The object of the study is the soils of the Sarykol district. The main goal is to identify the spatial distribution of soil fertility elements and the degree of land degradation to subsequently optimize land use. The calculations of soil fertility indicators and the creation of digital maps showing the distribution of elements and indices allowed for a comprehensive assessment of the soil conditions and the formulation of scientifically grounded recommendations for their rational use.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Теоретические основы оценки состояния почв	9
1.1 Понятие и значение оценки состояния почв	9
1.2 Основные показатели и методы оценки состояния почв	9
2 Характеристика Сарыкольского района Костанайской области	12
2.1 Географическое положение и границы района	12
2.2 Климатические условия	13
2.3 Рельеф и гидрография	14
3 Оценка современного состояния почв Сарыкольского района	16
3.1 Общая характеристика почвенного покрова и типы почв	16
3.2 Использование земель и агротехническая нагрузка	17
3.3 Оценка содержания гумуса, фосфора, калия и азота в почвах	19
3.4 Методика расчета запасов гумуса в почвах и балла бонитета	29
3.5 Применение данных ДЗЗ для анализа состояния почвы	34
4 Деградация почв и рекомендации по их улучшению	42
4.1 Комплексная оценка состояния почв	42
4.2 Карты потребности в удобрениях	45
4.3 Рекомендации по улучшению состояния почв	46
Заключение	50
Список использованной литературы	51
Приложение А	53
Приложение Б	54
Приложение В	55

ВВЕДЕНИЕ

Земля является фундаментальным средством производства в сельском хозяйстве. Земля имеет уникальные свойства в отличие от других средств производства. Её площадь ограничена, она не может быть заменена искусственными материалами. Земля нуждается в особом отношении для сохранения и увеличения её продуктивности. Почва является важнейшим компонентом земли как средства производства в сельском хозяйстве. Эффективное использование земли невозможно без учёта её почвенного покрова, который определяет основные свойства земельных участков и их пригодность для сельскохозяйственного производства.

Почва – ценная составляющая биосферы и решающее звено в обеспечении продовольственной безопасности, сохранении биоразнообразия и устойчивом сельскохозяйственном развитии. Оценка состояния покрова почв позволяет выявлять современные тенденции изменений плодородия, степень деградации, а также оценивать пригодность земель для использования в сельское хозяйство.

Объектом исследования выбран Сарыкольский район Костанайской области.

Предмет исследования – почвы Сарыкольского района.

Сарыкольский район, находящийся в северной части Костанайской области, признан разнообразием почвенного покрова земли, преимущественно чернозёмами и солончаковыми почвами.

В условиях интенсификации сельскохозяйственного производства и климатических изменений актуальность исследования состояния почв существенно возрастает. Актуальность исследования обусловлена необходимостью рационального использования земельных ресурсов региона, повышением их продуктивности и предотвращением деградационных процессов. Проведение анализа состояния почв с использованием современных методов и технологий позволит получить более точные данные, необходимые для эффективного управления сельскохозяйственными угодьями. Особенно актуальна задача выявления изменений в составе основных элементов плодородия — гумуса, фосфора, калия и азота, и оценки их пространственного распределения. Изменения в содержании этих элементов могут негативно сказываться на продуктивности сельскохозяйственных культур, а также на экологическом состоянии региона.

Целью работы является оценка современного состояния почв Сарыкольского района на основе анализа содержания гумуса, фосфора, калия и азота, с использованием методов бонитировки и геоинформационных систем.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- создание карт распределения содержания основных элементов почвенного плодородия с использованием ГИС-технологий;
- определение площади почв по обеспеченности элементами;
- выполнение расчёта запасов гумуса и балла бонитета;

- произвести расчёт и анализ вегетационных и почвенных спектральных индексов для выявления пространственных закономерностей, отражающих текущее состояние почвенного покрова;

- построение карт потребности в удобрениях на основе анализа обеспеченности элементами.

- разработка рекомендаций по рациональному использованию почвенных ресурсов района.

Научная новизна работы заключается в комплексном анализе пространственного распределения содержания гумуса, азота, фосфора и калия в почвах Сарыкольского района с использованием географических информационных систем (ГИС). Впервые проводится оценка современного состояния почв региона с применением цифровых методов обработки данных, что позволяет более точно определить степень их плодородия и выделить участки с различным агрохимическим состоянием.

Теоретической и методологической основой исследования являются научные труды по агрохимии, почвоведению, учебные и справочные пособия, информация с официальных сайтов органов местного самоуправления Сарыкольского района, ГИС-технологии и методы дистанционного зондирования. В работе применяются такие методы, как картографический, статистический и аналитический.

Результаты проведённого исследования обладают существенным практическим значением и могут быть использованы в различных сферах аграрного производства и природопользования. Результаты исследования позволяют более точно определять участки с дефицитом гумуса, фосфора, калия и азота, что способствует рациональному внесению минеральных удобрений и повышению урожайности. Построенные с использованием ГИС-технологий карты содержания элементов почвенного плодородия, а также карты запаса гумуса и потребности почв, могут быть использованы аграрными предприятиями и органами местного самоуправления при планировании мероприятий по охране и рациональному использованию земельных ресурсов. Работа демонстрирует возможности эффективного применения современных геоинформационных систем и методов дистанционного зондирования Земли для решения задач оценки агроэкологических условий, что соответствует актуальным направлениям развития цифрового земледелия.

1 Теоретические основы оценки состояния почв

1.1 Понятие и значение оценки состояния почв

Оценка состояния почв представляет собой комплексный процесс, направленный на определение качества и плодородия почвенного покрова, его способности в поддержании сельскохозяйственного производства и обеспечения экологического равновесия. В условиях интенсификации сельского хозяйства и изменения природных условий оценка состояния почв приобретает особую актуальность, поскольку уже позволит выявить деградационный процесс и своевременно принять соответствующие меры по устранению и предотвращению.

Оценка состояния почв — это система мероприятий, направленных на сбор, обработку и анализ данных о физических и химических характеристиках почвенного покрова. Главная цель оценки заключается в обнаружении изменений, которые сказываются на почвенной продуктивности и экологической устойчивости почв, а также в разработке рекомендаций по их рациональному и правильному использованию и оптимизации [1].

Оценка состояния почв занимает ключевое место в системе рационального управления земельными ресурсами, особенно в условиях необходимости устойчивого развития сельского хозяйства и защиты окружающей среды. Уровень обеспеченности почвы органическим веществом и элементами питания выступает индикатором её способности обеспечивать высокие урожаи, а следовательно — и конкурентоспособность аграрного сектора.

Оценка почв служит инструментом мониторинга деградационных процессов. Эрозия, засоление, переуплотнение, кислотность — все эти негативные явления поддаются выявлению и количественной оценке лишь на основе регулярного контроля состояния почвенного покрова.

Не менее значимо и то, что почвенная информация является фундаментом для рационального планирования землепользования. Научно обоснованный подход к размещению сельскохозяйственных культур, севообороту, мелиорации и внесению удобрений невозможен без предварительного анализа свойств и состояния почв.

Наконец, в условиях нарастающей антропогенной нагрузки оценка почв выходит за рамки аграрной практики и становится механизмом обеспечения экологической безопасности. Оценка приёмов, воздействующих на процессы накопления гумуса и дегумификации почв — одно из направлений, требующих проведения исследований в различных почвенно-климатических зонах [2].

1.2 Основные показатели и методы оценки состояния почв

Оценка состояния почвенного покрова основана на изучении его основных показателей, которые определяют плодородие, состояние окружающей среды и

пригодность для сельского хозяйства. Одним из важнейших аспектов оценки состояния почвы является анализ содержания в ней основных элементов питания, таких как гумус, фосфор, азот и калий. Эти элементы играют ключевую роль в обеспечении питания растений и их росте, а их недостаток или избыток могут значительно снижать урожайность и ухудшать состояние почвы.

Состояние почвы – результат сложного взаимодействия различных природных и антропогенных факторов.

Одним из важнейших факторов, оказывающих влияние на образование и изменение состояния почвы, является климат. Температура, осадки, влажность воздуха и интенсивность солнечного излучения влияют на процессы, протекающие в почве, водообмен, разложение органических веществ и минерализацию питательных элементов.

Гумус является ключевым компонентом почвы и одним из главных факторов, определяющих её плодородие [3]. Высокое содержание гумуса способствует формированию пористой структуры, улучшает аэрацию и влагоудерживающую способность. Однако его снижение, как правило, свидетельствует об ухудшении агрономических свойств почвы, ослаблении её биологической активности и повышенной эрозионной уязвимости.

Азот является одним из ключевых элементов питания растений и играет важную роль в обеспечении как урожайности, так и качества сельскохозяйственных культур [4]. Оптимальное содержание азота определяет интенсивность роста, фотосинтетическую активность и формирование урожайности. Дефицит проявляется в виде хлороза, слабого развития корней и снижения биомассы. При неправильном внесении азотных удобрений возрастает риск загрязнения окружающей среды, особенно водных экосистем.

Фосфор является одним из важнейших макроэлементов, определяющих агрохимическое состояние почв и их продуктивный потенциал. В условиях интенсивного сельскохозяйственного освоения, дефицит фосфора приводит к истощению почв и снижению урожайности, в то время как его избыточное накопление способно вызывать экологические риски, включая загрязнение водоёмов. В этом контексте фосфор рассматривается как один из основных индикаторов состояния почв, а его пространственный анализ с применением геоинформационных технологий позволяет проводить мониторинг, классификацию и зонирование территорий по уровню обеспеченности.

Содержание калия в почве представляет собой важный показатель, влияющий на жизнедеятельность растений и их устойчивость к внешним стрессам. Факторы, такие как тип почвы, её механический состав, кислотность и органическое вещество, в значительной степени влияют на подвижность и биоусвояемость калия. В условиях интенсивного земледелия дефицит этого элемента может привести к ухудшению качества урожая и снижению устойчивости культур к болезням и неблагоприятным климатическим условиям.

Таким образом, агрохимическое состояние почв напрямую зависит от сбалансированности ключевых элементов питания и содержания гумуса. Их

отклонения в сторону дефицита либо избытка формируют предпосылки к деградации почв, снижению урожайности и ухудшению устойчивости систем.

Одним из самых распространённых методов оценки состояния почвы является физико-химический анализ, который включает в себя измерения ряда ключевых показателей. К ним относятся:

- Содержание органического вещества: гумус является основой плодородия почвы, его содержание влияет на её структуру, водоудерживающую способность и способность связывать питательные вещества.

- Содержание питательных элементов: азот, фосфор и калий — важнейшие элементы для нормального роста растений.

С развитием технологий оценки состояния почв перешло на новый уровень, и теперь возможна оценка состояния почвы с помощью спутниковых изображений и геоинформационных систем. Методика предоставляет значительные преимущества, особенно на больших территориях, и позволяет оперативно получать информацию о состоянии почвы, не выходя на поле.

Для оценки состояния почвы часто используют спутниковые изображения с различных спутников, например, Landsat или Sentinel. Эти снимки помогают получить информацию о состоянии растительности, влажности почвы, наличии эрозии или загрязнений.

ГИС-технологии позволяют интегрировать данные, полученные с разных источников, включая результаты полевых исследований и спутниковые снимки. С помощью ГИС можно создавать карты распределения показателей почвы, а также прогнозировать изменения состояния почвы в зависимости от разных факторов, таких как климат или антропогенные воздействия.

Методы оценки состояния почвы являются ключевым инструментом для анализа её здоровья и разработки рекомендаций по эффективному использованию и восстановлению. От физико-химического анализа до применения геоинформационных технологий — каждый метод имеет своё место и роль. В результате воздействия природных и антропогенных факторов состояние почвы претерпевает значительные изменения, что требует комплексного подхода к её сохранению и улучшению. Для обеспечения устойчивости экосистем необходимо учитывать влияние этих факторов и разрабатывать эффективные методы управления почвенными ресурсами.

2 Характеристика Сарыкольского района Костанайской области

2.1 Географическое положение и границы района

Сарыкольский район расположен в северной части Костанайской области Республики Казахстан. Он занимает центрально-северную часть региона и отличается разнообразием природных условий, что существенно влияет на состояние почв и их использование [5].

Район граничит с несколькими районами Костанайской области:

- на севере — с Узункольским районом, что обеспечивает относительную однородность природных условий и почвенного покрова.
- на востоке — с Аулиекольским районом, который отличается более разнообразными ландшафтами и большей лесистостью.
- на юге — с Наурзумским районом, известным своей уникальной природной территорией — Наурзумским государственным природным заповедником, что может влиять на особенности почв и растительности на приграничных участках.
- на западе — с Фёдоровским районом, где также развиты сельскохозяйственные угодья, что способствует обмену опытом и развитием аграрного производства.

Пространственное положение Сарыкольского района и его границы с соседними административными районами представлены на рисунке 2.1 [6].



Рисунок 2.1 – Административное деление Костанайской области

Административным центром района является посёлок Сарыколь. Район имеет выгодное экономико-географическое положение благодаря близости к административному центру области — городу Костанай, который находится примерно в 120 километрах к северо-востоку. Такая расположенность способствует удобной транспортной доступности и развитию сельскохозяйственной деятельности. Географические координаты района находятся примерно между 52° и 53° северной широты и 64° и 65° восточной долготы.

Территория Сарыкольского района включает обширные равнинные участки с незначительными колебаниями высот. Основная часть района представлена степными ландшафтами, что определяет специфику его природных условий и использования земель.

Транспортная доступность района обеспечивается автомобильными дорогами местного и республиканского значения. Близость к крупным сельскохозяйственным центрам и административным узлам делает район привлекательным для ведения сельского хозяйства и развития инфраструктуры.

Географическое положение Сарыкольского района оказывает значительное влияние на его климатические условия, почвенный покров и особенности землепользования. Равнинный рельеф способствует развитию сельскохозяйственных угодий, однако требует особого внимания к мерам по предотвращению деградации почв и рациональному использованию земельных ресурсов.

2.2 Климатические условия

Климат Сарыкольского района относится к резко континентальному типу, характерному для северных и центральных районов Казахстана. Этот тип климата отличается значительными сезонными и суточными колебаниями температур, малым количеством атмосферных осадков и низкой относительной влажностью воздуха.

Температурный режим Сарыкольского района отличается значительными колебаниями в течение года. Среднегодовая температура воздуха составляет около +2...+3°C. Летний период здесь теплый и продолжительный. Высокие летние температуры в сочетании с низкой влажностью способствуют интенсивному испарению влаги из почвы, что особенно важно для сельскохозяйственных угодий. Зимний период холодный и длительный. Средняя температура января, самого холодного месяца, составляет около -17...-19°C. В суровые зимы температура может опускаться ниже -35°C. Морозы, сопровождающиеся сильными ветрами, негативно сказываются на состоянии почвы, особенно при недостаточном снежном покрове. Климатические условия района отражены в таблице 2.1, где приведена средняя месячная температура воздуха [7].

Таблица 2.1 - Средняя месячная температура воздуха

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
15.5	-14.9	-7.6	4.6	13.3	19.3	20.2	18.3	11.8	4.2	-6.3	-13.3

Переходные сезоны выражены слабо, характеризуются резкими колебаниями температуры и неустойчивыми погодными условиями. Весенние заморозки могут наблюдаться вплоть до конца мая, что неблагоприятно сказывается на развитии сельскохозяйственных культур.

Влажность воздуха в районе невысокая, особенно в летний период, когда она может снижаться до 30–40%. Низкая влажность в сочетании с высокими температурами способствует интенсивному испарению влаги из почвы, что снижает её продуктивность. Среднегодовое испарение значительно превышает количество выпадающих осадков, что приводит к дефициту влаги и необходимости внедрения мер по её сохранению, особенно на сельскохозяйственных угодьях. Климатические условия района отражены в таблице 2.2, где приведены месячная сумма осадков [7].

Таблица 2.2 - Месячная сумма осадков, мм

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
17	13	14	22	34	39	53	43	25	30	27	20

Таким образом, климатические условия Сарыкольского района в значительной мере определяют особенности почвенного покрова и характер его использования. Недостаток влаги, выраженная континентальность климата и высокие летние температуры, требуют рационального подхода к землепользованию и проведения мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв.

2.3 Рельеф и гидрография

Рельеф Сарыкольского района представляет собой преимущественно равнинную местность, которая относится к южной части Западно-Сибирской равнины. Основная часть территории характеризуется слабоволнистым и плоским рельефом, что является типичным для степной зоны Казахстана. Абсолютные высоты варьируются в пределах от 150 до 250 метров над уровнем моря. Для более детального понимания рельефа и природных условий территории на рисунке 2.2 представлена топографическая карта Сарыкольского района [8].

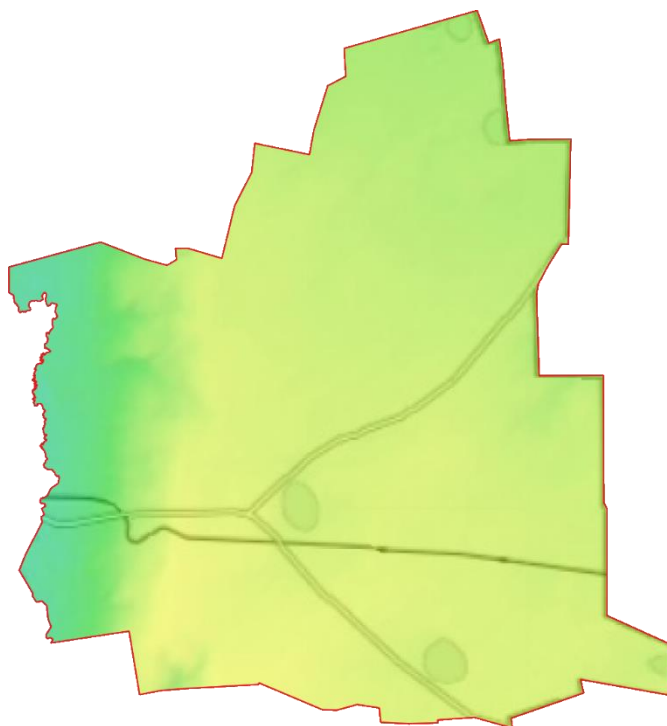


Рисунок 2.2 – Топографическая карта Сарыкольского района

Ровные территории создают хорошие условия для сельскохозяйственного производства, особенно для выращивания зерновых и кормовых культур. Однако слабый уклон местности способствует застою влаги в низинах и формированию временных водоёмов в период таяния снега и после обильных дождей. В северо-восточной и центральной частях района рельеф более однообразный, в то время как в южных и западных частях встречаются небольшие повышенности, которые, однако, не оказывают значительного влияния на землепользование.

Гидрография Сарыкольского района развита слабо и представлена в основном временными водотоками, озёрами и болотами, которые формируются преимущественно в весенний период. Большинство водоёмов имеют сезонный характер и пересыхают в тёплое время года. Озёра, преимущественно мелководные и разбросанные по территории района, представляют собой локальные аккумуляторы влаги, чьи слабоминерализованные воды находят применение в аграрной практике. Их роль в регулировании водного режима, особенно в условиях неустойчивого увлажнения, трудно переоценить — они становятся буферами водного дефицита, компенсируя сезонные колебания осадков. К ним относятся: Солёное, Сарыколь, Сливное, Жаксыжарколь и Тениз.

В целом, водные объекты района, несмотря на их ограниченную территориальную распространённость, оказывают существенное влияние на экосистему. Их взаимодействие с другими природными компонентами, такими как почвы, растительность и климат, определяет экологическую устойчивость и динамичность местных ландшафтов.

3 Оценка современного состояния почв Сарыкольского района

3.1 Общая характеристика почвенного покрова и типы почв

Почвы Сарыкольского района являются важным компонентом природной среды и оказывают значительное влияние на сельское хозяйство региона. Рельеф, климат, гидрологические условия и антропогенные факторы формируют различные типы почв, которые обеспечивают основу сельскохозяйственного производства. Сарыкольский район расположен в степной зоне Центрального Казахстана, что определяет преобладание степных почв, таких как черноземы. Почвенные условия в регионе достаточно благоприятны для выращивания различных культур, особенно зерновых, но они также подвержены эрозии и деградации, поэтому охрана почв требует особого внимания.

Почвенный покров отличается разнообразием и мозаичностью из-за неоднородности ландшафта, влияния хозяйственной деятельности и особенностей рельефа. Наиболее плодородные участки используются под пашню, в то время как менее плодородные земли занимают угодья и пастбища. Почвенный покров характеризуется разнообразными участками с высокой степенью распаханности и сохранившимися природными ландшафтами. Из-за интенсивного использования земель наблюдаются такие процессы деградации, как эрозия, снижение содержания гумуса и локальные проявления засоления.

На территории Сарыкольского района преобладают чернозёмы, формирующиеся в пределах подзоны умеренно-увлажнённых степей, относящейся к степной зоне. Однако почвенное разнообразие района неравномерно: его южные и северные части существенно различаются по составу почвенного покрова. Так, на севере наиболее широко распространены солонцеватые чернозёмы обыкновенные, а также их комплексы с солонцами и лугово-чернозёмными почвами, которые также включают солонцы. Южнее, ближе к озёрным котловинам, почвенный покров приобретает иной характер: здесь встречаются как нормальные чернозёмы обыкновенные, так и их сочетания с солонцами, а вблизи водоёмов — лугово-чернозёмные почвы. Особняком стоит юго-запад района — долина реки Обаган. Здесь формируются южные чернозёмы с признаками солонцеватости, а пойменные и террасированные участки русла характеризуются развитием собственно солонцов [7].

Таким образом, почвенный покров района представляет собой мозаичную структуру, сформированную под влиянием рельефа, увлажнения и микроклиматических условий, что наглядно отражает природную неоднородность степной подзоны.

В своём фундаментальном труде «Русский чернозём» Докучаев подчёркивал исключительную ценность чернозёмов для сельского хозяйства, называя их «вековым, неистощимым русским богатством», важным ресурсом, дороже нефти и других полезных ископаемых. Его идеи о закономерностях почвообразования и природной зональности стали основой

современного почвенного картографирования и оценки плодородия, актуальных и по сей день в условиях устойчивого землепользования.

К основным типам почв Сарыкольского района относятся:

1. Чернозёмы обыкновенные

Чернозем обыкновенный — самый распространенный тип в Сарыкольском районе. Они встречаются в центральных и северных регионах с влажным климатом. Из-за высокого содержания гумуса и питательных веществ почва подходит для интенсивного использования в сельском хозяйстве, особенно для выращивания зерновых и кормовых растений.

2. Чернозёмы обыкновенные солонцеватые

Чернозёмы обыкновенные солонцеватые получили распространение на севере района, в засушливой местности. Они менее плодородны по сравнению с обычным черноземом из-за высокого содержания соли.

3. Комплексы черноземов обыкновенных солонцеватых с солонцами

Эти почвы также расположены в северной части территории. Вследствие близкого залегания солёных горизонтов возникают локальные участки с характерным засолением. Солонцы — это почвы, содержащие растворённые соли, что снижает их плодородие.

4. Лугово-черноземные почвы с солонцами

В районе озёрных котловин на юге сформировались лугово-черноземные почвы, которые также содержат солонцы. Эти почвы могут быть использованы для сельского хозяйства, однако их продуктивность ограничена засолением.

5. Чернозёмы обыкновенные нормальные

В южной части подзоны распространены чернозёмы обыкновенные нормальные, которые характеризуются высокими показателями плодородия и являются основой для выращивания сельскохозяйственных культур. Это наиболее продуктивные почвы в Сарыкольском районе, которые обеспечивают хорошие условия для земледелия.

6. Солонцы

В пойменных и террасированных участках реки Обаган встречаются солонцы — почвы, подверженные засолению. Эти участки требуют проведения специальных мероприятий, направленных на снижение солёности и восстановление их плодородия.

3.2 Использование земель и агротехническая нагрузка

Сарыкольский район, где проводится исследование, является одним из основных районов по обеспечению сельскохозяйственной продукцией. Здесь использование земель обусловлено разнообразием природных условий и интенсивной хозяйственной деятельностью. Почвы района активно используются в сельском хозяйстве, особенно для возделывания сельскохозяйственных культур и организации пастбищ. Земельный фонд делится на несколько категорий в зависимости от целей использования и степени

антропогенной нагрузки. Категории земель и соответствующие им площади сведены в таблицу 3.1 [9].

Таблица 3.1 – Площадь земель по категориям в Сарыкольском районе

Категория земель	Площадь, га
Земли сельскохозяйственного назначения	504 433
Земли населенных пунктов	48 359
Земли промышленности, транспорта, связи, обороны и иного несельскохозяйственного использования	1 002
Особо охраняемые природные территории, а также земли оздоровительного, рекреационного и историко-культурного назначения	0
Лесной фонд	28 638
Водный фонд	0
Земли запаса	29 181

Сельскохозяйственные угодья занимают значительную часть территории района, что обуславливает основное направление земельного использования. Согласно данным, общая площадь Сарыкольского района составляет 611 613 га, из них сельскохозяйственных угодий 504 240 га, что составляет 82,5 % от общей территории района [9]. Это позволяет утверждать о высоком уровне вовлечённости земель в сельскохозяйственный оборот и об определённой степени антропогенной нагрузки на почвенный покров. Зерновое земледелие имеет важное значение для экономической стабильности района и всего региона. Основные сельскохозяйственные земли сосредоточены на чернозёмах обыкновенных, которые обеспечивают высокую урожайность при соблюдении агротехнических норм.

Наибольшая доля сельскохозяйственных угодий приходится на пашню — 366 474 гектара, или 72,7 % от площади всех сельхозугодий [9]. Подобная структура отражает специализацию района на товарном растениеводстве и объясняет высокую интенсивность агротехнической деятельности. Следует отметить, что такая практика оказывает с одной стороны агрономически положительное влияние, с другой — приводит к экологическому напряжению и ускоренному истощению почвенных ресурсов.

Пастбища, занимающие площадь в 130 498 га, играют ключевую роль в аграрной системе района, обеспечивая кормовую базу для животноводства и способствуя поддержанию биоразнообразия растительности [9]. Тем не менее, длительное и интенсивное использование пастбищ с постоянным выпасом скота приводит к серьёзной агротехнической нагрузке, что в свою очередь вызывает процесс деградации почв. Наиболее очевидными последствиями этого воздействия являются уплотнение почвы, нарушение водного режима и снижение содержания гумуса. В связи с этим, необходимо пересматривать подходы к управлению пастбищами, включая внедрение систем ротационного выпаса и восстановительных агротехнических мероприятий.

Кроме того, лесные земли, занимающие 27 040 га, выполняют экологическую и важную защитную функцию в агроландшафтах района [9]. Эти территории способствуют стабилизации микроклимата, участвуют в поддержании водного баланса и сохранении биоразнообразия, что в условиях интенсивного земледелия становится особенно актуальным. Леса играют роль своего рода природных барьеров, уменьшая воздействие эрозионных процессов и смягчая негативные последствия от использования смежных сельскохозяйственных угодий. Однако, несмотря на свою важность, площадь лесных земель в районе остаётся ограниченной, что подчеркивает необходимость принятия мер по увеличению их площади и улучшению состояния в рамках агролесоводческих практик.

Распределение земель по категориям и степень их интенсивного использования в Сарыкольском районе свидетельствуют о значительной агротехнической нагрузке, оказываемой на почвенные ресурсы. Преобладание пашни и пастбищ в структуре землепользования, как показывает рисунок 3.1, указывает на высокую степень аграрной активности, что, в свою очередь, требует принятия комплексных и научно обоснованных мер по управлению почвами.

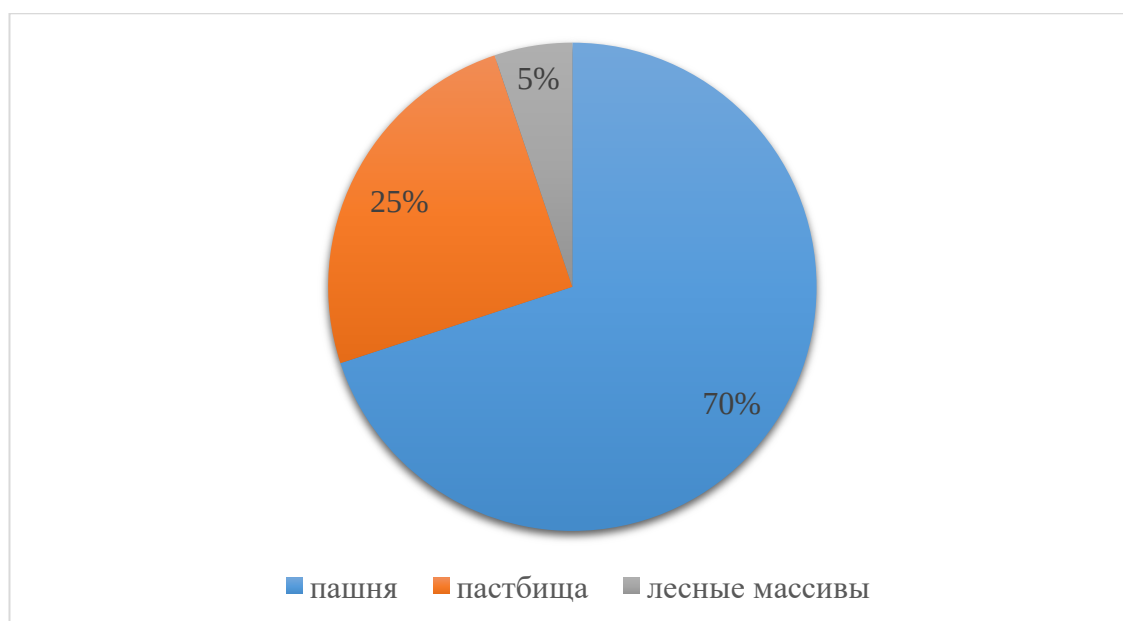


Рисунок 3.1 – Экспликация земель Сарыкольского района

3.3 Оценка содержания гумуса, фосфора, калия и азота в почвах

Оцифровка карт, представляющих информацию о содержании ключевых элементов в почвах, является важным этапом в геопространственном анализе. Данные получены из научно-исследовательского центра А.И. Бараева. Для определения содержания элементов в почве центром были отобраны образцы из верхнего слоя (0–25 см) на посевных участках. Определение содержания элементов в отобранных образцах проводилось по методу И. В. Тюрина. На

основе результатов лабораторного анализа и последующего аналитического картографирования была составлена агрохимическая карта почв исследуемой территории.

Применение геоинформационных систем (ГИС) в почвоведении существенно расширяет возможности анализа, визуализации и интерпретации почвенной информации. ГИС-технологии позволяют создавать подробные тематические карты, цифровые модели почвенного покрова и интегрировать данные дистанционного зондирования, что значительно повышает точность исследований. С их помощью осуществляется пространственное моделирование содержания основных агрохимических показателей, таких как гумус, фосфор, калий и азот, а также оценка деградационных процессов [10].

С помощью геоинформационных систем, а именно QGIS, была выполнена оцифровка карт, что позволило провести пространственный анализ, а также вычислить такие важные показатели, как процентное содержание каждого элемента в почве, площади, на которых их содержание варьируется, и баллы бонитета, отражающие степень плодородия почвы. QGIS, представляющая собой свободно распространяемую геоинформационную систему, активно используется как государственными учреждениями, так и коммерческими структурами для работы с пространственными данными. Её функционал охватывает не только создание и редактирование карт, но и глубокий анализ географической информации.

Процесс оцифровки карт включал несколько ключевых этапов:

1. Геопривязка раstra и сканирование карт: Оригинальные картографические материалы были привязаны в QGIS. Это позволило точно привязать изображения к географическим координатам, обеспечив корректное размещение данных на цифровых картах.

2. Цифровизация контуров и значений: В процессе оцифровки были определены и оцифрованы полигоны полей, всего 965 участков. Помимо этого, были оцифрованы границы района, водоёмы, дороги, включая железнодорожные пути. Для создания объектов использовались инструменты режима редактирования, включая добавление полигональных и линейных объектов, инструмент редактирования вершин для точной корректировки контуров, а также инструмент прилипания для точного соединения объектов с соседними. Для каждого полигона была создана таблица атрибутов, в которой указаны значения содержания элементов в почвах для каждого поля.

3. Обработка данных: Были созданы слои, отражающие содержание каждого элемента в почвах района. Эти данные были разделены на категории в зависимости от уровня содержания элементов. В свойствах каждого слоя был выбран стиль, а именно символизация по уникальным значениям, что позволило классифицировать значение каждого элемента (гумуса, фосфора, калия и азота) по категориям. Также был изменен цвет для каждой категории, что позволило более наглядно представить распределение элементов на карте. Также проведен пространственный анализ, что позволило оценить распределение этих элементов

на территории района и выявить зависимости между их содержанием и качеством почвы.

Заполнение атрибутивной таблицы и выполнение расчетов с использованием калькулятора полей в QGIS стали неотъемлемыми этапами обработки данных о содержании элементов в почвах Сарыкольского района. Была создана атрибутивная таблица, в которой фиксировались данные о процентном содержании каждого элемента по каждому из 965 полигонов. Для каждого поля в атрибутивной таблице были указаны значения, соответствующие различным категориям содержания элементов, таким как низкое, среднее и высокое содержание. Заполнение таблицы основывалось на результатах оцифровки карт и геопривязки изображений, что обеспечивало корректное отображение данных и соответствие реальному расположению элементов в пространстве.

С помощью калькулятора полей в QGIS были проведены вычисления, направленные на определение площади, занятых участками с различным содержанием фосфора, гумуса, азота и калия. Для этого использовались стандартные функции QGIS, позволяющие вычислять площадь каждого полигона в зависимости от категории содержания того или иного элемента.

Для преобразования значений площади в гектары была использована следующая формула:

$$S = \text{round} \left(\frac{A}{10000}, 1 \right) \quad (1)$$

где S — площадь объекта в гектарах, округлённая до 1 знака после запятой;

A — площадь объекта в квадратных метрах;

10000 — количество квадратных метров в одном гектаре.

Формула позволила перевести площадь из квадратных метров в гектары с точностью до одного знака после запятой, что является удобным для дальнейшего анализа и представления результатов.

После выполнения расчетов были получены данные о суммарной площади, занятой почвами с различным уровнем содержания каждого элемента.

Для вычисления суммарной площади, занятой участками с определенным содержанием элементов, была использована формула:

$$S_i = \sum A \quad (2)$$

где S_i — суммарная площадь объектов, объединённых по определённому значению признака.

Данная формула позволила вычислить общую площадь для каждого диапазона содержания элементов, сгруппированную по значению элемента в атрибутивной таблице. Это дало возможность точно определить, какая площадь территории занята почвами с разными уровнями содержания фосфора, гумуса, азота и калия.

Таким образом, процесс заполнения атрибутивной таблицы и выполнение расчетов с помощью калькулятора полей обеспечили систематизацию и количественную оценку содержания элементов в почвах Сарыкольского района, что является важной основой для дальнейшего анализа состояния почв и оценки их агрономического потенциала.

В рамках данного исследования был проведён анализ содержания основных агрохимических элементов — фосфора, азота, гумуса и калия — в пределах пашенных земель Сарыкольского района. Для этого использовались данные о распределении этих элементов по различным категориям, что позволило выявить особенности почвенного состава и оценить их потенциал для сельскохозяйственного использования.

Выбор пашенных земель в качестве объекта исследования обусловлен их ключевой ролью в аграрной системе Сарыкольского района и наибольшей степенью антропогенной нагрузки. Именно пашни являются основным источником сельскохозяйственной продукции, а потому наиболее подвержены деградационным процессам, связанным с интенсивной эксплуатацией, нарушением структуры почвы и снижением содержания питательных элементов.

Освоение степных массивов Костанайской области для нужд сельского хозяйства началось в середине XIX века. Особенно интенсивное использование земель наблюдалось в период столыпинской аграрной реформы (1909–1918 гг.), когда в регион переселялись многочисленные земледельцы. Массовое освоение целинных и залежных земель степной зоны Северного Казахстана осуществлялось в 1954–1960 годах в рамках программы освоения целины. К 1990 году площадь пашни, используемой для возделывания сельскохозяйственных культур в области, составила 47 миллионов гектаров, а 11 млн га требовали мелиоративных мероприятий и агротехнического улучшения [11]. В результате интенсивного освоения чернозёмов с легким механическим составом и повышенной карбонатностью в 1960-х годах начались процессы почвенной эрозии, а также возник дисбаланс минеральных и органических веществ. В течение последних трёх-четырёх десятилетий под воздействием активно развивающихся деградационных процессов почвенный покров претерпел заметные трансформации, выразившиеся в существенном снижении содержания гумуса и усилении процессов его утраты.

Отсутствие системы почвозащитного земледелия при экстенсивном использовании сельскохозяйственных угодий в регионе привело к снижению почвоукрепляющей способности на 8,6–27,7 % [11]. Одной из ключевых причин дегумификации почвенного покрова является длительное применение монотипных систем земледелия, сопровождающееся нарушением севооборота. Таким образом, уменьшение содержания гумуса рассматривается как одна из основных причин деградации почв.

На рисунке 3.2 представлена карта содержания гумуса в почвах района, отражающая пространственное распределение уровня обеспеченности органическим веществом.

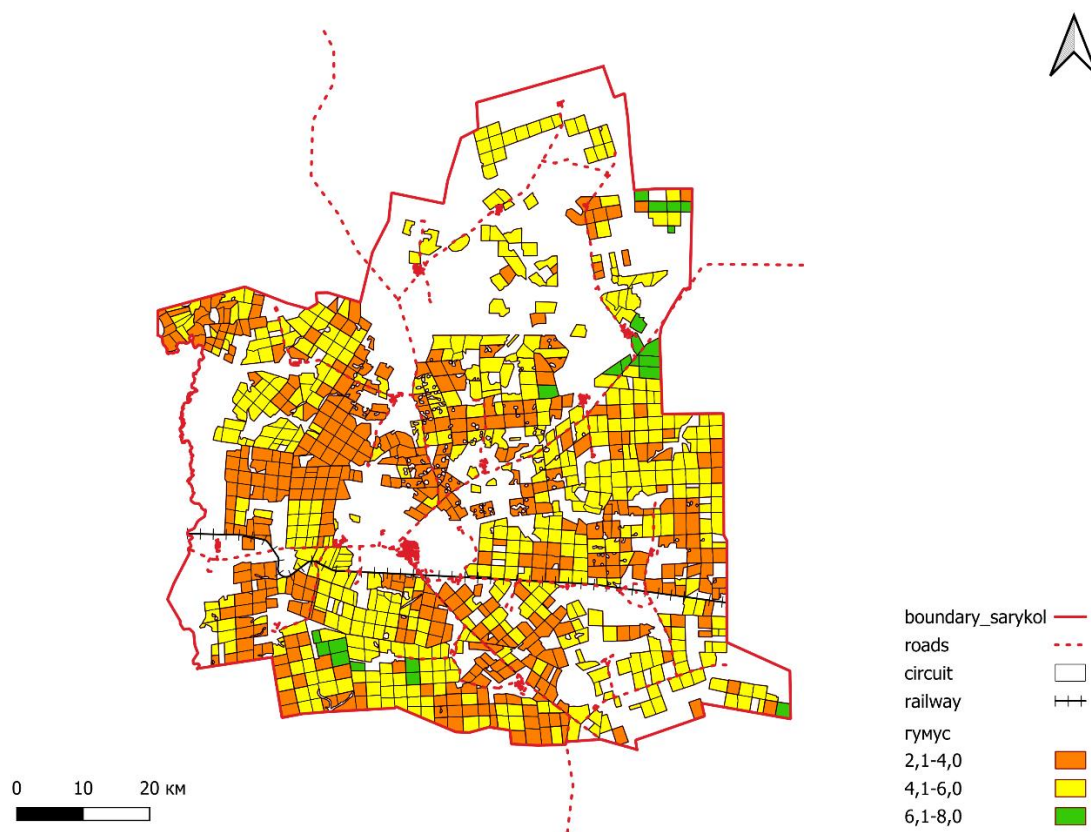


Рисунок 3.2 – Карта содержания в почве гумуса

Для количественной характеристики распределения пашенных земель по уровням содержания гумуса была построена диаграмма, представленная на рисунке 3.3.

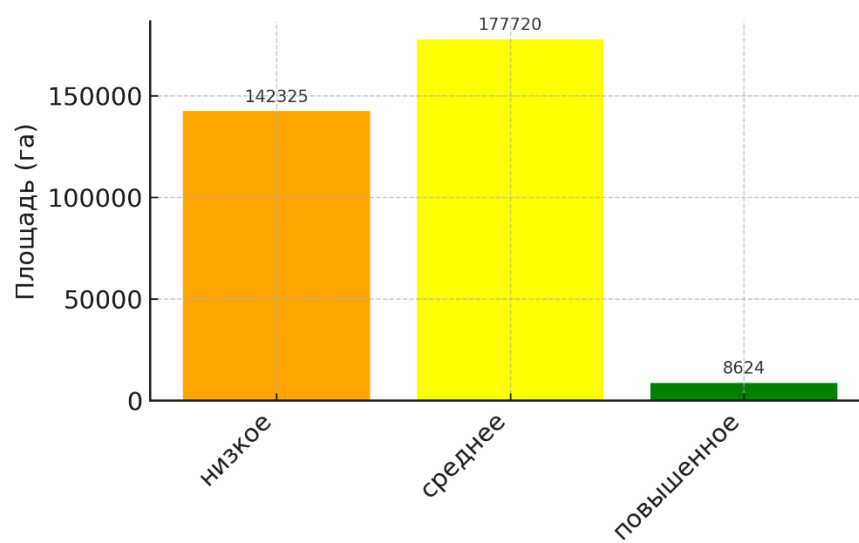


Рисунок 3.3 – Распределение площадей по содержанию гумуса

Содержание гумуса в почвах Сарыкольского района в основном относится к категории среднего уровня (4,1-6,0%) и занимает 177 719,6 га, что является положительным фактором для обеспечения почвы органическими веществами. Гумус играет важную роль в поддержании структуры почвы, улучшении водоудерживающих свойств и повышении её плодородия. Однако значительная часть территории (142 325,4 га) имеет низкое содержание гумуса (2,1-4,0%), что может указывать на необходимость проведения мероприятий по улучшению органического состава почвы. Почвы с повышенным содержанием гумуса (6,1-8,0%) занимают лишь 8 623,7 га, что говорит о том, что такие участки встречаются относительно редко и требуют особого внимания для сохранения их высокого качества.

Одной из актуальных проблем является дегумификация почв Костанайской области, вызванная интенсивным соблюдением технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Разработка агрохимической картограммы для рационального использования сельскохозяйственных угодий, являющихся важным природным ресурсом региона, представляется важной и своевременной задачей. Результаты научных исследований [12-17] свидетельствуют о том, что ежегодно теряется от 400 до 600 кг гумуса с одного гектара посевных площадей. Примером этого является снижение содержания гумуса, особенно в районах с высокой интенсивностью водной эрозии, где на протяжении нескольких лет наблюдается уменьшение гумусных запасов. В результате, на большей части региона фиксируются низкие значения гумуса (3,0%), а также средние значения (5,0%). Эти данные свидетельствуют о снижении содержания гумуса на 25-30% за последние 30–40 лет по сравнению с показателями, приведёнными в научной литературе предыдущих лет.

Следующим важным элементом является фосфор, содержание которого отражено на рисунке 3.4.

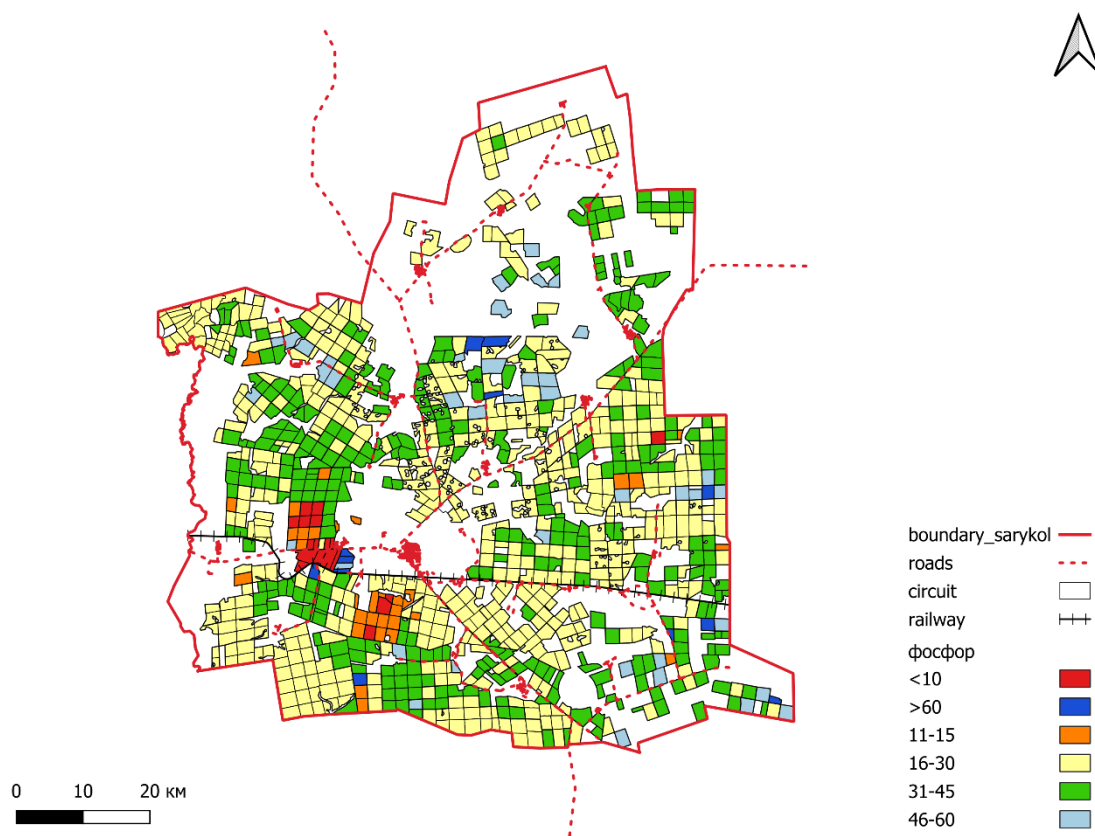


Рисунок 3.4 – Карта содержания в почве подвижного фосфора

Распределение пашенных земель по уровням обеспеченности фосфором показано на рисунке 3.5.

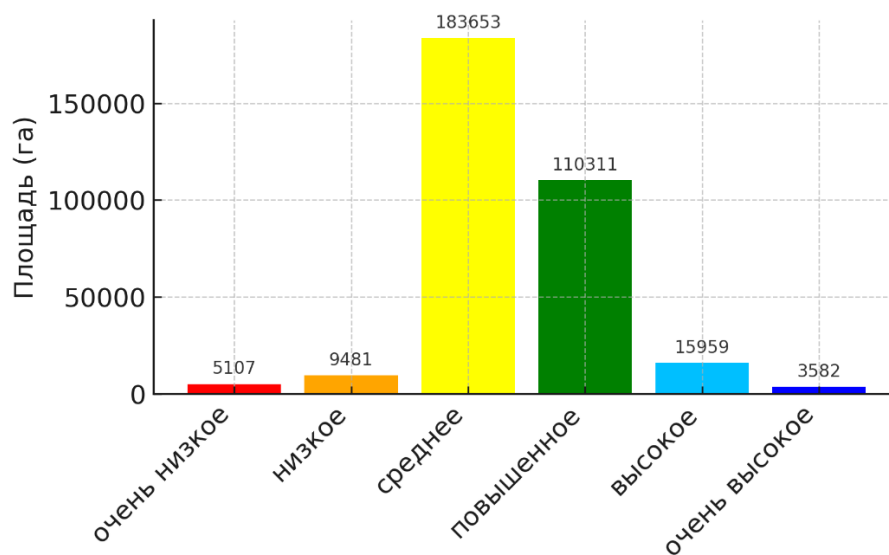


Рисунок 3.5 – Распределение площадей по содержанию фосфора

Распределение содержания фосфора в почвах Сарыкольского района показывает, что наибольшая площадь (183 652,6 га) относится к категории среднего содержания фосфора (16-30 мг/кг). Это свидетельствует о том, что

большая часть почв имеет оптимальное количество этого элемента для большинства сельскохозяйственных культур. Почвы с повышенным содержанием фосфора (31-45 мг/кг) занимают 110 310,7 га, что также является положительным фактором, способствующим улучшению питательных свойств почвы. Почвы с высоким содержанием фосфора (46-60 мг/кг) составляют 15 959,1 га и обеспечивают хороший уровень фосфорного питания для растений. Почвы с низким содержанием фосфора (11-15 мг/кг) занимают 9 481,2 га и требуют оптимизации внесения фосфорных удобрений для повышения плодородия. В то же время, очень низкое содержание фосфора (<10 мг/кг) занимает сравнительно небольшую площадь (5 106,6 га), что требует внимание для улучшения фосфорного питания в данных зонах.

Далее рассмотрено содержание азота в почвах района. На рисунке 3.6 представлена карта пространственного распределения содержания данного элемента.

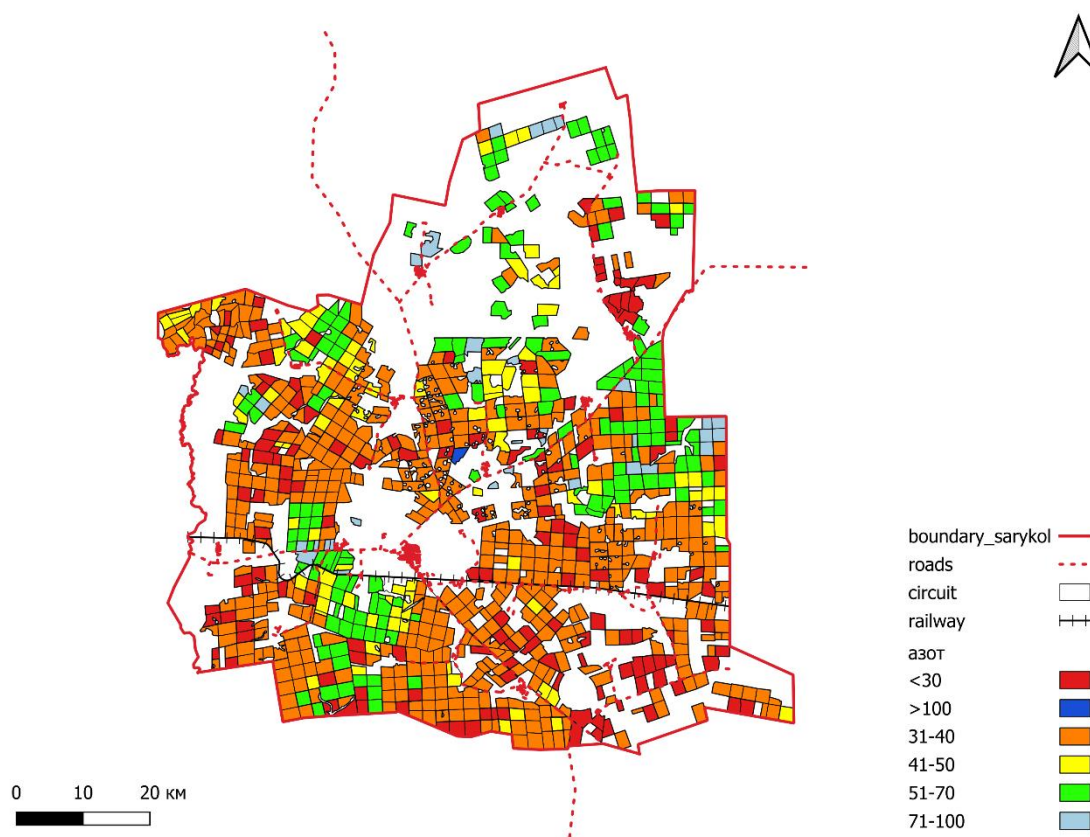


Рисунок 3.6 – Карта содержания в почве легкогидролизуемого азота

Диаграмма распределения земель по уровням содержания азота представлена на рисунке 3.7.

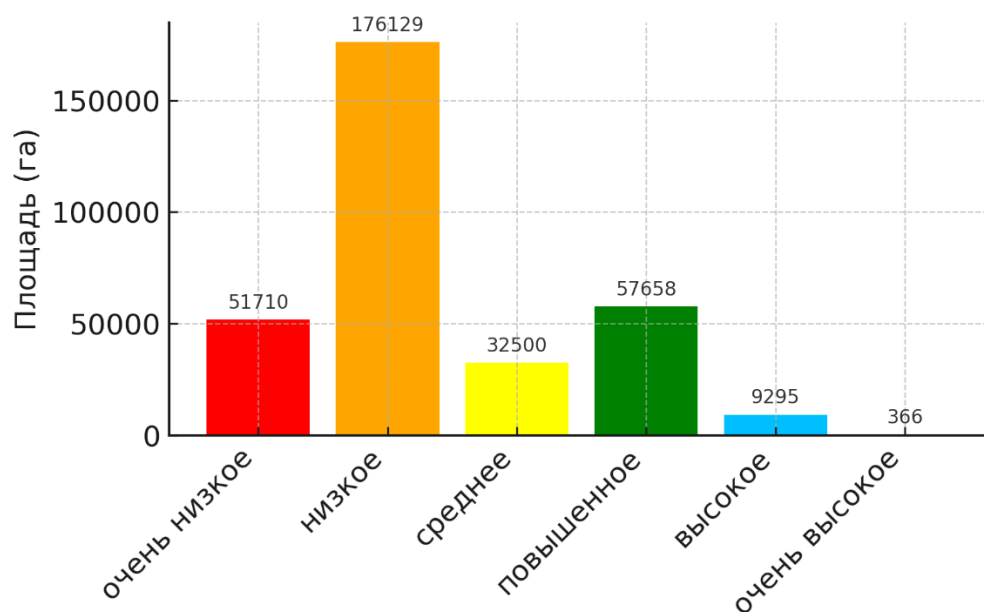


Рисунок 3.7 – Распределение площадей по содержанию азота

Что касается содержания легкогидролизуемого азота, то наибольшая площадь (176 128,9 га) относится к категории низкого содержания (31-40 мг/кг), что является оптимальным для большинства сельскохозяйственных культур. Среднее содержание азота (41-50 мг/кг) занимает 32 499,7 га, что также является хорошим уровнем для обеспечения растений необходимым питанием. Почвы с повышенным содержанием азота (51-70 мг/кг) занимают 57 657,6 га, что также является благоприятным для роста растений. В то же время, территория с очень низким содержанием азота (<30 мг/кг) составляет 51 710,4 га, что требует улучшения азотного питания почвы. Почвы с очень высоким содержанием азота (>100 мг/кг) занимают лишь 365,8 га, что является малой долей и может указывать на потенциальные зоны с избыточным азотом.

Заключительным элементом анализа является калий, содержание которого отображено рисунке 3.8.

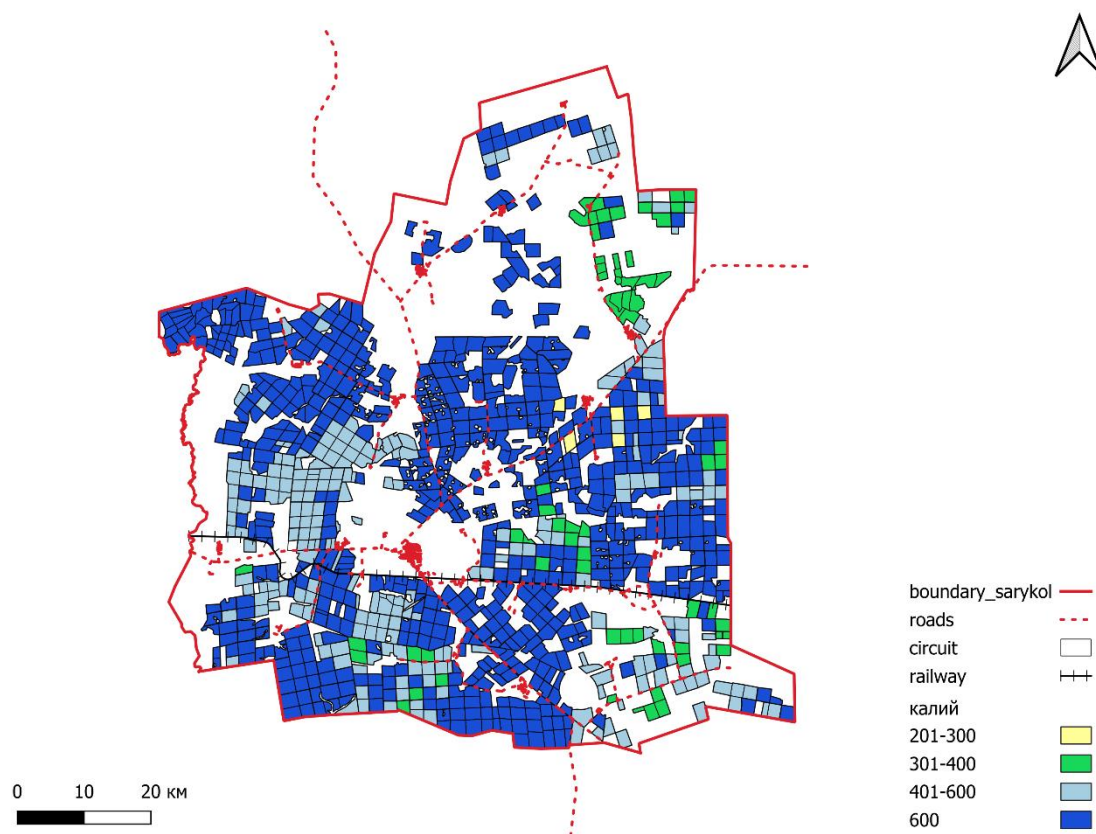


Рисунок 3.8 – Карта содержания в почве обменного калия

Диаграмма распределения земель по уровням содержания калия представлена на рисунке 3.9.

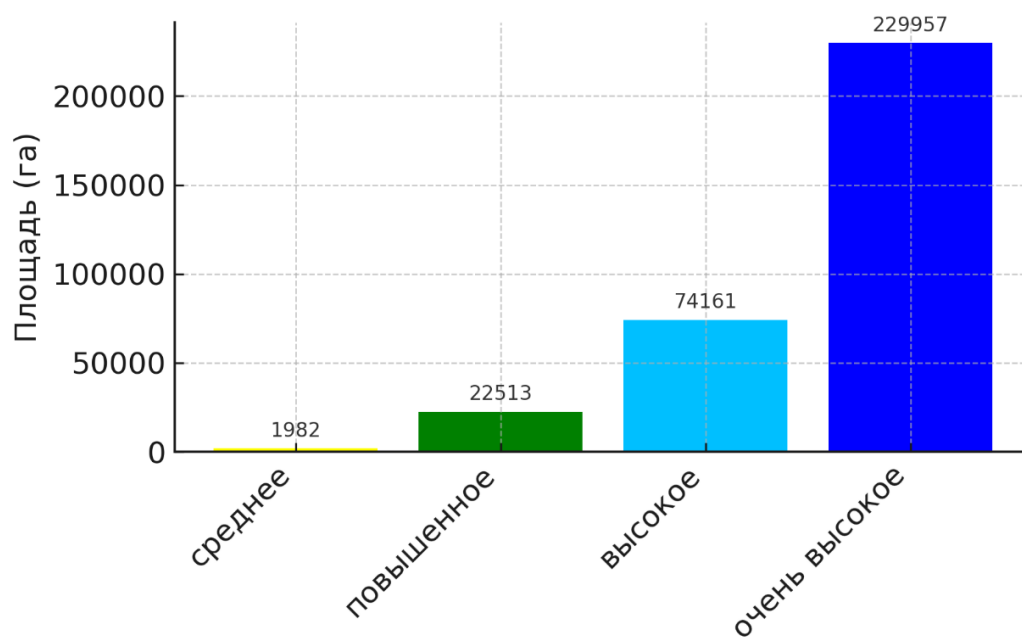


Рисунок 3.9 – Распределение площадей по содержанию калия

Содержание обменного калия в почвах в основном варьируется в категории очень высокого содержания (>600 мг/кг), занимающей 229 956,8 га. Это является положительным фактором для сельскохозяйственного производства, так как калий играет важную роль в укреплении клеточных стенок растений и повышении их устойчивости к неблагоприятным условиям. Почвы с высоким содержанием калия (401-600 мг/кг) составляют 74 161,1 га, что также является хорошим показателем. Почвы с средним (201-300 мг/кг) и повышенным (301-400 мг/кг) содержанием калия занимают меньшую площадь (1 982,1 га и 22 513,0 га соответственно).

Данные о содержании элементов в почве, их агрохимической классификации и соответствующих площадях приведены в приложении А. Таким образом, проведенный анализ позволил получить полное представление о пространственном распределении и обеспеченности пашенных земель района основными элементами питания растений.

3.4 Методика расчета запасов гумуса в почвах и балла бонитета

Запасы гумуса в почвах являются одним из ключевых показателей их плодородия, оказывающим значительное влияние на сельскохозяйственную продуктивность. Определение запасов гумуса позволяет оценить состояние почвы, ее способность обеспечивать растения необходимыми питательными веществами и поддерживать их рост и развитие. Важность такого анализа тесно связана с процессом бонитировки почв, который является необходимым для более глубокой оценки их качества и потенциала.

Бонитировка почв представляет собой сравнительную оценку их качества, производительной способности и плодородия. Это специализированная классификация почв по их продуктивности, основанная на объективных признаках, которые являются важными для роста сельскохозяйственных культур и коррелируют со средней многолетней урожайностью. Бонитировка почв — это сравнительная оценка качества почв и их естественной производительной способности сельскохозяйственных угодий, направленная на установление интегральной оценки их продуктивности для рационального использования земельных ресурсов [18].

Следовательно, бонитировка почв может быть рассмотрена как уточненная агрономическая классификация, в которой учет естественного плодородия выражается в баллах. Этот процесс позволяет не только выявить качественное состояние почв на различных участках, но и сравнить их с оптимальными показателями для конкретного типа почвы [19]. В настоящее время ученые активно работают над совершенствованием методик бонитировки, уделяя особое внимание адаптации методов для конкретных типов почв, ландшафтов и агроклиматических зон. Например, разрабатываются принципы методики бонитировки для неорошаемой пашни и вводятся дополнительные коэффициенты экологической нарушенности почв.

По общесоюзной методике запасы гумуса рассчитываются на всю глубину плодородного слоя почвы с учётом почвенных горизонтов в тоннах на гектар [20]. Для расчета запасов гумуса по общесоюзной методике используется следующая формула:

$$Z = PVh \quad (3)$$

где P – доля гумуса в расчетном слое почвы, выраженная в процентах;

V – объемный вес, г/см³;

h – мощность, см.

Объемный вес почвенного горизонта составляет 1,20-1,25 г/см³, что характерно для среднего песчаного.

Данные о мощности почвенных горизонтов и содержании гумуса в районе, полученные на основе анализа карт, приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Мощность почвенных горизонтов и содержание гумуса в Сарыкольском районе

Горизонт	Мощность, см	Содержание гумуса, %
A	0-29	3,05
B ₁	29-57	5,05
B ₂	57-80	7,05

$$Z(A) = 29 \cdot 3,05 \cdot 1,2 = 106,14 \text{ т/га}$$

$$Z(B_1) = 28 \cdot 5,05 \cdot 1,2 = 169,68 \text{ т/га}$$

$$Z(B_2) = 23 \cdot 7,05 \cdot 1,2 = 194,58 \text{ т/га}$$

$$Z = 106,14 + 169,68 + 194,58 = 470,4 \text{ т/га}$$

Итоговый запас составляет 470,4 т/га, что позволяет отнести почвы к категории среднего плодородия.

После расчёта запасов гумуса с использованием соответствующих формул, были внесены данные в таблицу атрибутов, где для каждого объекта рассчитаны необходимые значения. На основе этих данных была построена карта визуализации на рисунке 3.10, которая наглядно отображает распределение запасов гумуса по территории.

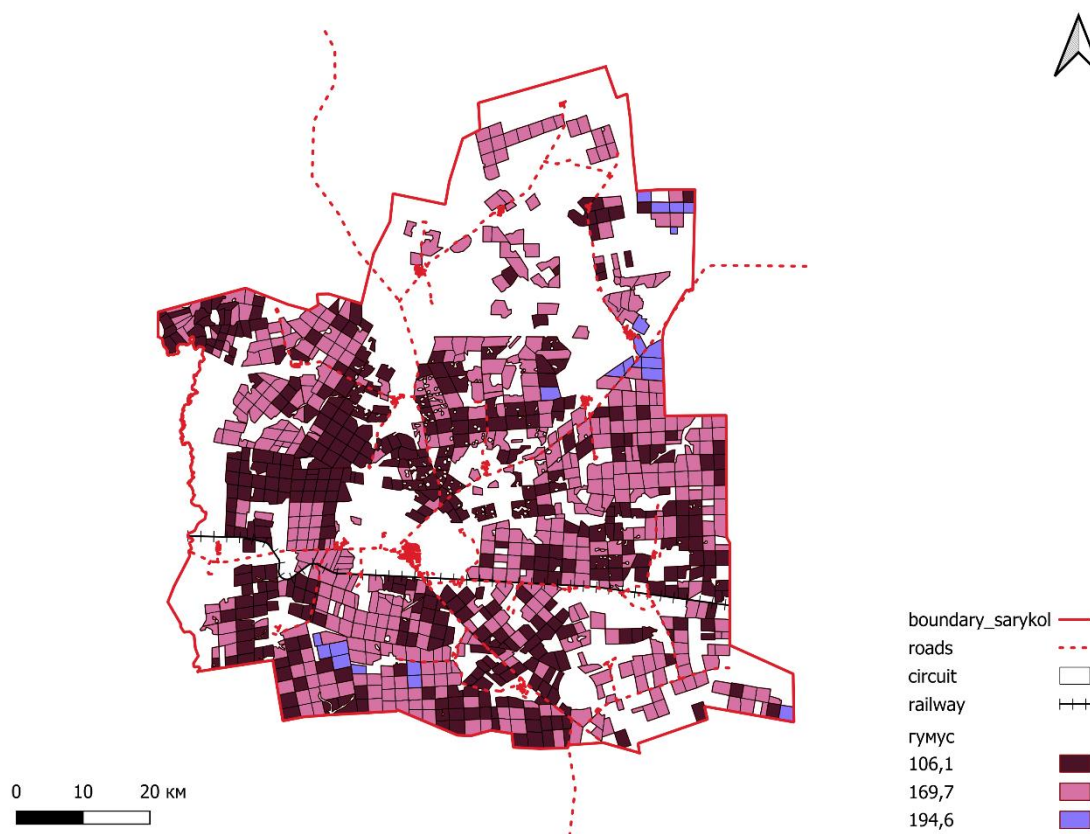


Рисунок 3.10 – Карта запасов гумуса в почвах Сарыкольского района

Запасы гумуса представляют собой количественное выражение содержания органического вещества в почвенном слое и используются для оценки агрохимического состояния почв. В Казахстанской методике они рассчитываются с учётом содержания гумуса, глубины почвенного слоя и плотности почвы.

Запасы гумуса в процентах до глубины 50 см вычисляют по формуле:

$$Z = \frac{\sum Ph}{50} \quad (4)$$

где P – содержание гумуса в процентах в анализируемом слое почвы;
 h – мощность, см.

При расчете запасов гумуса важно внимательно отслеживать правильность вычислений, особенно в части учета глубины почвенного слоя. В числителе формулы необходимо, чтобы сумма мощностей почвенных горизонтов составляла ровно 50 см. Для этого с горизонта А берется полная мощность в 29 см, а с горизонта В1 — только 21 см, так как общая глубина не должна превышать 50 см. С горизонта А берем для расчета все 29 см, с горизонта В1 только 21 см, потому что мы должны взять только 50 см почвенного слоя. Таким образом, расчет запаса гумуса:

$$Z = (29 \cdot 3,05 + 21 \cdot 5,05) / 50 = 3,89 \%$$

Этот расчет отражает содержание гумуса в почвенном слое на глубине 50 см, которое составляет 3,89 процентов. Этот показатель является ключевым для оценки плодородия почвы и принятия решений в агрономии.

Далее, для более точной оценки состояния почвы используется расчет балла бонитета, который, согласно общесоюзной методике, основывается на вычислении запасов гумуса в т/га. Эталонным примером служит почва с наибольшим содержанием гумуса, которой присваивается максимальная оценка — 100 баллов. Остальные почвы получают соответствующие баллы пропорционально этому эталону.

В соответствии с выполненными расчетами, принимаем значение $Z = 470,4$ т/га. Предполагается, что максимальное содержание запасов гумуса по всем разрезам составляет 1020,2 т/га, что соответствует 100 баллам. На основе этих данных составляем пропорцию для вычисления предварительного балла бонитета.

1020,2 т/га – 100 баллов

470,4 т/га – x баллов

$$x = (470,4 \cdot 100) / 1020,2 = 46$$

Таким образом, предварительный балл бонитета составляет 46 баллов.

Теперь проводится расчет окончательных баллов бонитета, основанный на предварительных данных, с учетом всех факторов, влияющих на плодородие почвы. Понижающие коэффициенты, использованные при расчёте окончательного балла бонитета почв, представлены в таблице 3.3 [20].

Таблица 3.3 – Понижающие коэффициенты, используемые для расчёта окончательного балла бонитета почв

Параметр	Уточнение	Обозначение	Значение
Механический состав	глинистая	K_1	0,80
	легкосуглинистая		0,70
	среднесуглинистая		1,00
	тяжёлосуглинистая		0,95
	супесчаная		0,80
	песчаная		0,20
Степень эрозионного воздействия	слабая	K_2	0,9
	средняя		0,75
	сильная		0,50

$$\text{Бокон} = \text{Бпредвар} \cdot K_{\text{общ}} = 46 \cdot 0,9 = 41$$

В Республике Казахстан применяется методика, основанная на использовании условного эталона почвы, которому присвоено максимальное значение – 100 баллов. В качестве базовой почвы принят чернозём обыкновенный средней мощности и среднесуглинистого гранулометрического состава с содержанием гумуса 7 процентов в горизонте 0–50 см.

Предварительный балл бонитета без учета поправочных коэффициентов рассчитывается следующим образом:

$$B = \frac{Z}{7} 100 \quad (5)$$

где Z – запас гумуса, %;

7 – доля гумуса в почвенном слое глубиной 0–50 см, %.

$$B_{\text{предвар}} = (3,89 \cdot 100) / 7 = 55$$

В расчётах применяются поправочные коэффициенты, уточняющие предварительный балл бонитета с учётом свойств почвы, в результате чего определяется итоговая оценка её плодородия и продуктивности.

$$B_{\text{окон}} = B_{\text{предвар}} \cdot K_{\text{общ}} = 55 \cdot 0,9 = 49$$

Информация о категориях бонитета почв и их агроэкологической оценке представлена в таблице 3.4 [20].

Таблица 3.4 – Категории бонитета почв и оценка состояния

Класс бонитета почв	Диапазон бонитетных баллов	Оценка состояния почв
X	91-100	Почвы наивысшего качества, высокоплодородные земли
IX	81-90	Очень хорошие по агрономическим свойствам
VIII	71-80	Плодородные, пригодные для интенсивного использования
VII	61-70	Удовлетворительные по качеству
VI	51-60	Почвы среднего плодородия
V	41-50	Посредственные, требуют улучшения
IV	31-40	Малоплодородные земли
III	21-30	Почвы с выраженными ограничениями
II	11-20	Плодородие крайне низкое
I	1-10	Земли низшего качества, практически непригодные

По результатам проведённых расчётов, указанных в таблице 3.5, балл бонитета по общесоюзной методике составляет 41, а по казахстанской — 49. Согласно классификации, данные показатели соответствуют V классу бонитета. Это свидетельствует о том, что исследуемые земли относятся к категории средних по качеству — посредственных.

Таблица 3.5 – Расчёт запасов гумуса и баллов бонитета

Горизонты						Запасы гумуса					Предварительные баллы бонитета	Окончательные баллы бонитета		К	
А		В ₁		В ₂		в т/га				в % для 0-50					
см	%	см	%	см	%	А	В ₁	В ₂	Σ						
0-29	3,0 5	29-57	5,0 5	57-80	7,0 5	106,14	169,68	194,58	470,4	3,89	46	55	41	49	0,9

Результаты произведённых расчётов запасов гумуса и баллов бонитета позволяют перейти к их анализу и сделать следующие выводы:

1. **Запас гумуса:**
По общесоюзной методике расчет запаса гумуса составляет 470,4 т/га. Это значение учитывает общий показатель содержания гумуса в почвах по ранее установленным коэффициентам.

По Казахстанской методике запас гумуса равен 3,89%. Этот показатель представляет собой процентное содержание гумуса в почвах, который затем используется для более точных расчетов в рамках национальной системы.

2. **Балл бонитета:**
По общесоюзной методике балл бонитета составляет 41, что указывает на средний уровень плодородия почвы, исходя из стандартизированных коэффициентов для разных регионов СССР. По Казахстанской методике балл бонитета равен 49, что также соответствует уровню плодородия почвы, но в контексте местных особенностей почвообразования и агрономических характеристик.

Таким образом, расчет по Казахстанской методике показывает несколько более высокие показатели, что может свидетельствовать о большем потенциале для сельскохозяйственного использования почв в Сарыкольском районе по сравнению с общесоюзной методикой. Это может быть связано с различиями в применяемых коэффициентах и методах расчета, отражающих специфику региона.

3.5 Применение данных ДЗЗ для анализа состояния почвы

Одним из современных и востребованных подходов к пространственному анализу состояния почв считается применение данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Особую значимость приобретают методы, основанные на вычислении спектральных индексов, с помощью которых можно эффективно отслеживать различия в состоянии растительного покрова, уровне влажности почв и степени воздействия человеческой деятельности на земную поверхность.

В рамках исследования были использованы спутниковые снимки Landsat 8, загруженные с официального портала USGS в 2024 году, что обеспечило актуальность и высокое качество исходных данных для пространственного анализа. Данные спутника Landsat 8, обладающие мультиспектральными характеристиками и пространственным разрешением 30 метров, представляют собой достоверный инструмент для анализа почвенно-экологических условий, особенно в сельскохозяйственных районах, подобных Сарыкольскому.

Цель данного этапа исследования — расчет индексов NDVI, SAVI, NDWI, GCI и BSI на основе данных Landsat для пространственной оценки современного состояния почвенного покрова района. Характеристики спектральных каналов, использованных для расчёта указанных индексов, приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Характеристики спектральных каналов Landsat 8

Спектральный диапазон	Обозначение	Диапазон длин волн (нм)	Спутниковый канал
Зелёный	GREEN	530–590	Band 3
Красный	RED	640–670	Band 4
Ближний инфракрасный	NIR	850–880	Band 5
Средний инфракрасный	SWIR	1570–1650	Band 6

Этапы обработки включают:

1. Загрузка и подготовка данных: Снимки Landsat были получены через платформу EarthExplorer с исходным пространственным разрешением 30 м. Важно отметить, что калибровка спутниковых данных была выполнена изначально, что говорят об этом метаданные.

2. Обрезка растра по границам исследуемой территории: Для анализа исключительно территории Сарыкольского района все изображения были обрезаны по полигону, соответствующему административным границам района. Это позволило сосредоточиться на исследуемой территории и исключить данные за её пределами. Последовательность выполнения обрезки растра включала следующие шаги: сначала извлечение, затем обрезка растра по маске, и, наконец, расчёт из слоя. Результат данной обработки представлен на рисунке 3.11.

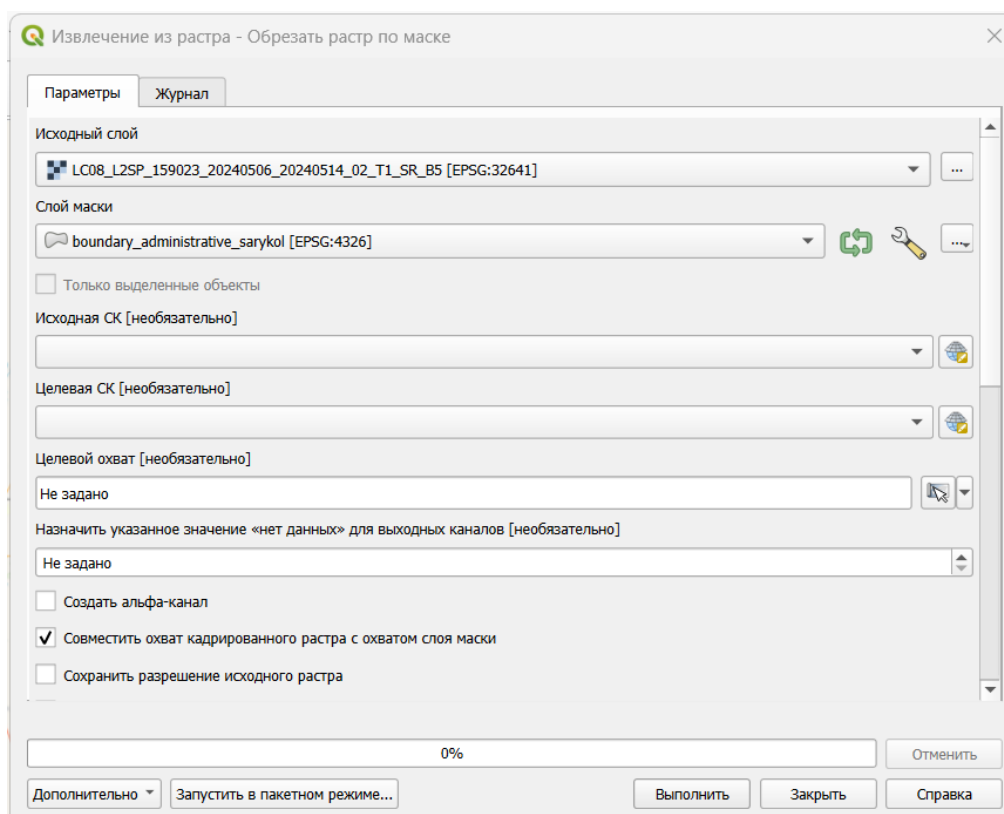


Рисунок 3.11 – Извлечение из растра

3. Расчёт индексов: С использованием инструмента Raster Calculator в QGIS были вычислены индексы NDVI, SAVI, NDWI и BSI по приведённым формулам. Индексы были рассчитаны для каждого пикселя изображения и затем сгруппированы в отдельные слои. Каждый из этих индексов отражает различные характеристики почвенного и растительного покрова, что важно для комплексной оценки состояния территории. После вычисления индексы были систематизированы и сохранены в виде отдельных растровых слоев, что позволило впоследствии проводить их визуальный анализ, сравнение и интеграцию с другими географическими данными в рамках дальнейших этапов исследования. Такой подход обеспечил высокую степень детализации и наглядность результатов, что является важным для принятия обоснованных решений в агроэкологическом мониторинге региона.

4. Векторизация и классификация: Результаты расчёта индексов были классифицированы по заранее определённым диапазонам значений, что позволило визуализировать распределение растительности, водоёмов, влажных территорий и урбанизированных зон.

Для анализа состояния почвенного покрова Сарыкольского района были использованы различные индексы, которые позволяют более точно оценить характеристики растительности и водного покрытия.

Одним из наиболее распространённых является нормализованный вегетационный индекс растительности (NDVI), который широко используется для мониторинга состояния растительного покрова. Данный индекс основан на разнице между отражениями красного и инфракрасного излучения. Это позволяет эффективно выделять области с различным уровнем вегетации. Значение показателя NDVI отображены на таблице 3.7. Повышенные значения NDVI свидетельствуют о богатой растительности, тогда как низкие значения указывают на пустыни или другие малообжитые территории.

Таблица 3.7 – Значение показателя NDVI

Вид поверхности	Отражательная способность в красном диапазоне	Отражательная способность в ближнем ИК-диапазоне	NDVI
Густая растительность	0.1	0.5	0.7
Редкая растительность	0.1	0.3	0.5
Оголённый грунт	0.25	0.3	0.025
Облачность	0.25	0.25	0
Покров из снега или льда	0.375	0.35	-0.05
Водоёмы	0.02	0.01	-0.25
Городские покрытия	0.3	0.1	-0.5

Формула расчета индекса NDVI:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (6)$$

Где NIR — коэффициент отражения в ближнем инфракрасном диапазоне;
RED — коэффициент отражения в красной области спектра.

На рисунке 3.12 показано пространственное распределение значений индекса NDVI по территории Сарыкольского района.

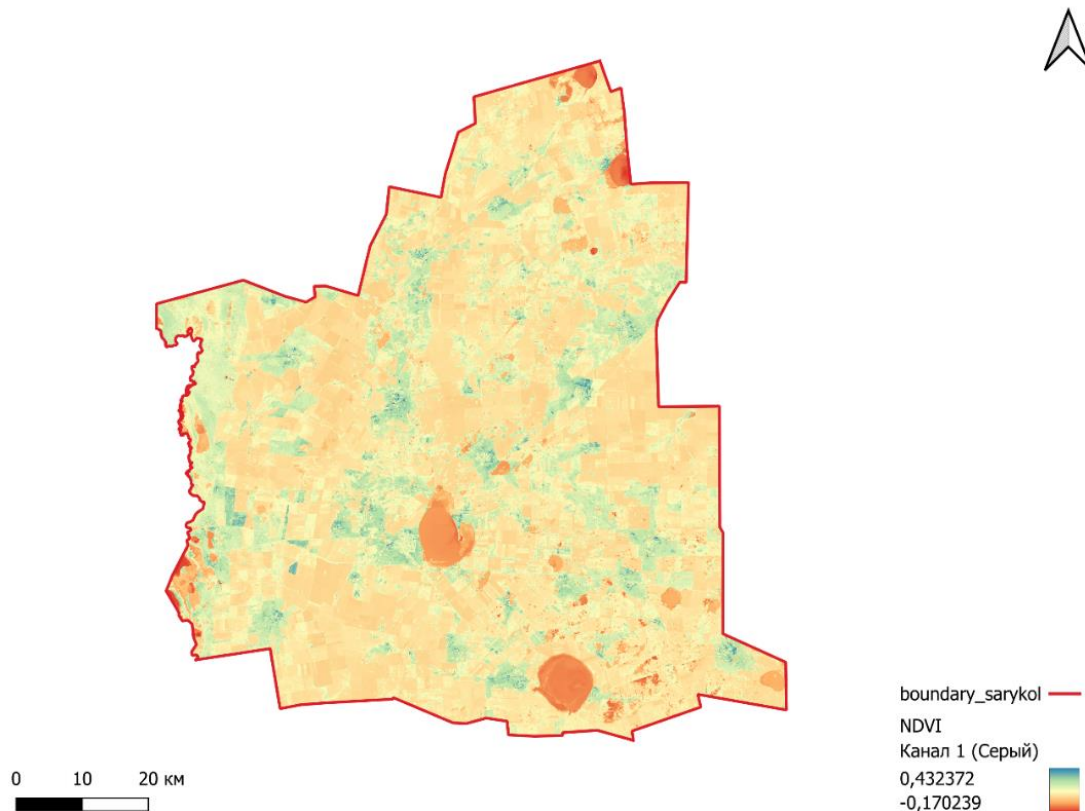


Рисунок 3.12 – Распределение индекса NDVI по территории района

Диапазон значений NDVI на исследуемой территории составил от -0.1702 до 0.4324, что отражает широкий спектр состояний растительного покрова — от полностью оголённых или урбанизированных участков до зон с активной биомассой. Наибольшие значения индекса (более 0.3) зафиксированы на участках с устойчивой растительностью, характеризующейся высокой степенью фотосинтетической активности. В то же время низкие и отрицательные значения NDVI указывают на наличие территорий с минимальным или отсутствующим растительным покровом.

В дополнение к NDVI был использован индекс SAVI (Индекс растительности с коррекцией по почве), который учитывает влияние почвы на

результаты. Индекс предложил учёный Уэте — его целью было уменьшение влияния почвенной насыщенности. В классическое уравнение NDVI он внёс коэффициент L, почвенную поправку, чтобы справиться с почвенным шумом. Влажность, цвет, изменчивость — все эти факторы сильно искажают данные, и именно L помогает снизить их влияние.

Формула расчета индекса SAVI:

$$SAVI = \frac{(NIR-RED) \times (1+L)}{NIR+RED+L} \quad (7)$$

где L — коэффициент, корректирующий влияние почвы (0.5).

На рисунке 3.13 представлена пространственная характеристика значений индекса SAVI на территории района.

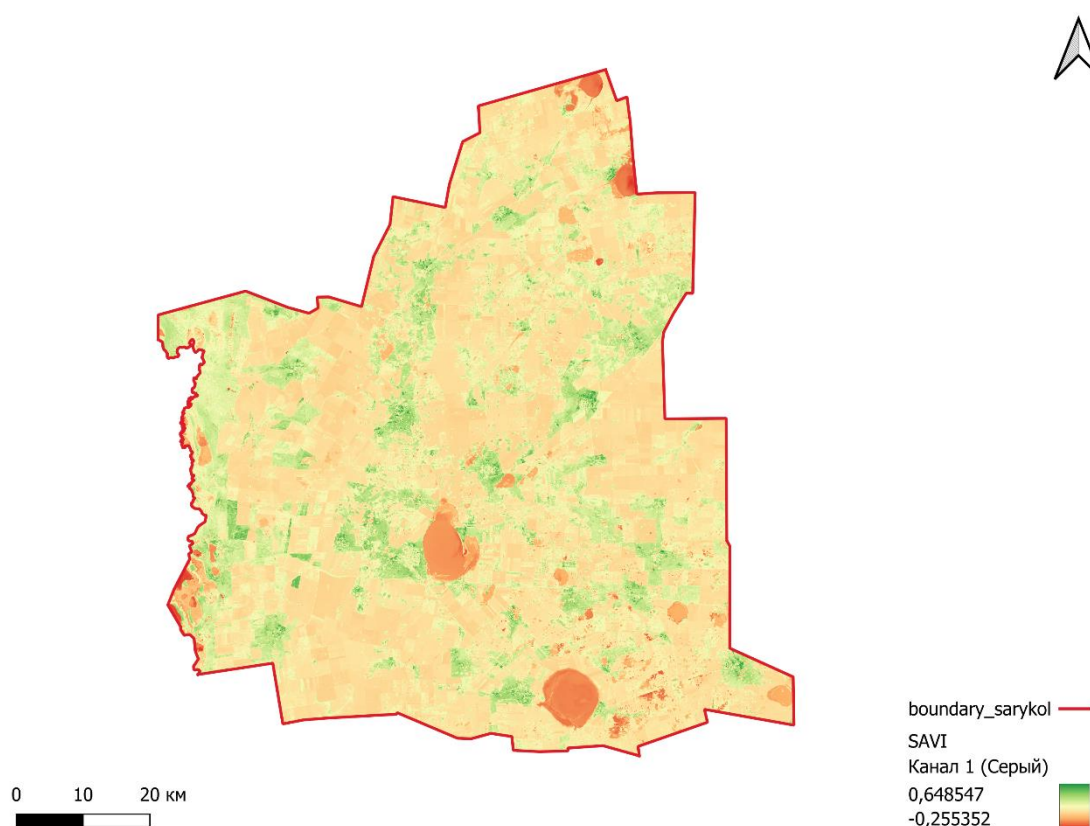


Рисунок 3.13 – Распределение индекса SAVI по территории района

Значения SAVI на исследуемой территории варьировали от -0.2554 до 0.6485, что свидетельствует о существенной пространственной неоднородности вегетационного покрова. Максимальные значения (более 0.5) отражают наличие участков с густой и активной растительностью, тогда как отрицательные и близкие к нулю значения характерны для территорий с минимальным количеством растительного покрова или его отсутствием. Полученные

результаты позволяют сделать вывод о значительном различии в уровне наземной биомассы в пределах района, что может быть связано как с природными условиями, так и с различиями в типе землепользования.

Другим значимым индексом является Нормализованный индекс разницы воды (NDWI), применяемый для оценки содержания воды в растительности и почве. Этот индекс позволяет выявлять водоносные зоны и отслеживать изменения водного баланса в исследуемой области. Он особенно полезен в регионах с переменным климатом или в периоды засухи, когда информация о водных ресурсах становится особенно актуальной.

Формула расчета индекса NDWI:

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (8)$$

где SWIR — отражательная способность в коротковолновом инфракрасном диапазоне спектра.

На рисунке 3.14 отображено пространственное распределение значений индекса NDWI на территории Сарыкольского района, отражающее уровни увлажнения поверхности в пределах района по результатам спутниковых данных.

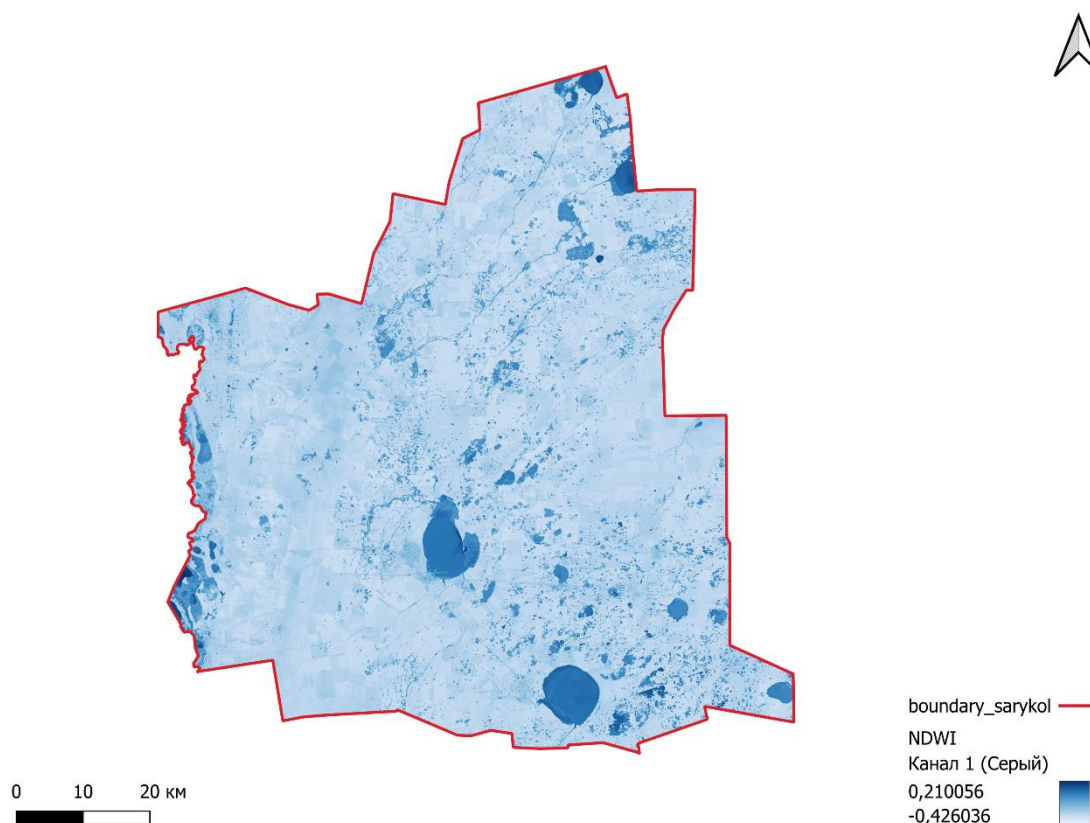


Рисунок 3.14 – Распределение индекса NDWI по территории района

На исследуемой территории значения NDWI колебались в пределах от -0.4260 до 0.2101. Отрицательные значения, охватывающие значительную часть площади, свидетельствуют о низком содержании влаги, что характерно для засушливых или слабо увлажнённых участков. Положительные значения (до 0.21) отмечены локально и могут указывать на наличие увлажнённых зон вблизи водоёмов, понижений рельефа или в местах с сохранённой плотной растительностью. Пространственная картина распределения NDWI подчёркивает разнородность гидротермических условий в пределах района, что важно учитывать при анализе состояния и потенциала почв.

Одним из информативных спектральных показателей для выявления участков с оголённой поверхностью почвы является индекс оголённой почвы (BSI). Он основан на соотношении отражательной способности в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах, что позволяет надёжно дифференцировать почвы от растительного покрова и других ландшафтных компонентов.

Формула расчета индекса BSI:

$$BSI = \frac{(NIR - GREEN) + RED}{(NIR + GREEN) + RED} \times (-1) \quad (9)$$

На рисунке 3.15 показано распределение значений индекса BSI по территории Сарыкольского района, характеризующее уровень оголённости почв.

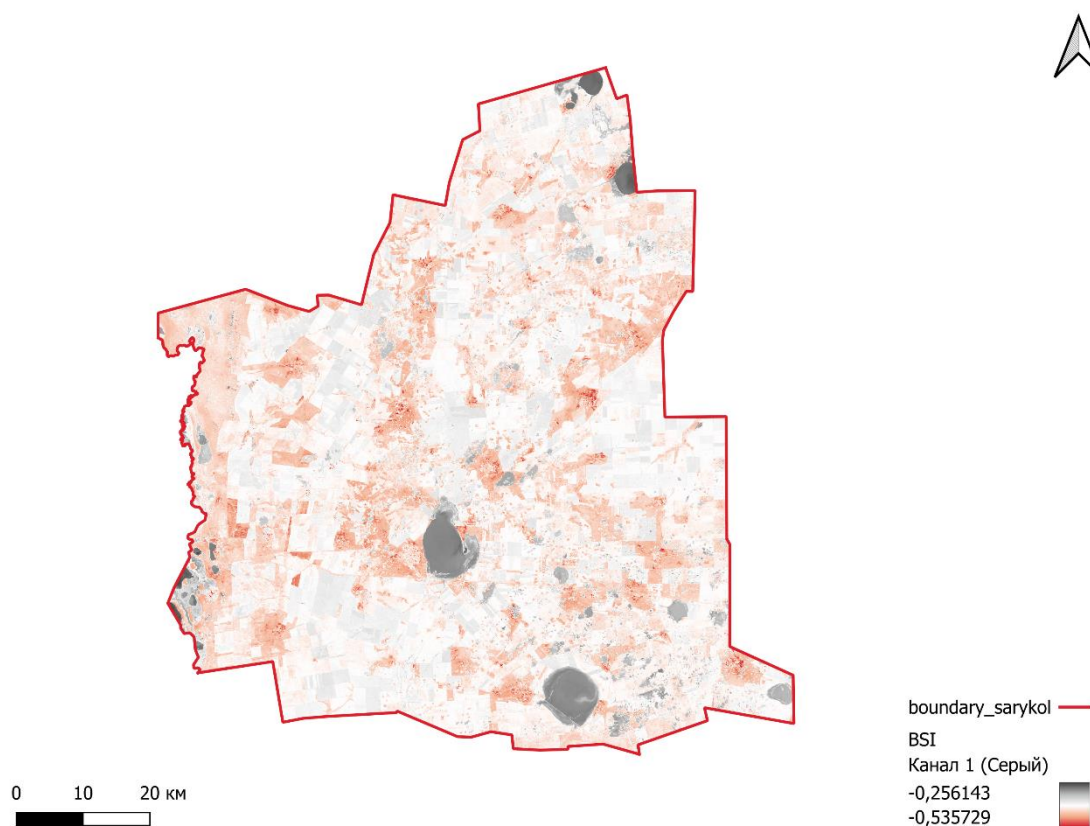


Рисунок 3.15 – Распределение индекса BSI по территории района

Значения BSI на исследуемой территории варьировались от -0.5357 до -0.2561, что свидетельствует о значительном преобладании участков с низким содержанием растительности. Негативные значения индекса указывают на наличие участков с оголённой или слабозаселённой почвой, что может быть связано с деградацией растительного покрова, антропогенной деятельностью или природными факторами, такими как эрозия. В пределах данного диапазона BSI наибольшие значения (-0.2561) могут свидетельствовать о слегка покрытых растительностью участках, в то время как минимальные значения (-0.5357) указывают на участки с практически полным отсутствием растительного покрова.

В таблице 3.8 представлен сравнительный анализ диапазонов значений спектральных индексов, рассчитанных по территории района, что позволяет оценить различия в их чувствительности к почвенно-растительному покрову и влажности поверхности.

Таблица 3.8 – Сравнительный анализ диапазонов значений индексов

Индекс	Максимальное значение	Минимальное значение
NDVI	0.4324	-0.1702
SAVI	0.6485	-0.2554
NDWI	0.2101	-0.4260
BSI	-0.256143	-0.535729

Анализ спектральных индексов позволил получить комплексную картину состояния почвы и растительности. Значения индексов варьируются в широком диапазоне: NDVI колеблется от -0,1702 до 0,4324, что указывает на разнообразие растительности, от участков с отсутствием растительности до областей с активным растущим покровом. Индекс SAVI показывает значения от -0,2554 до 0,6485, подтверждая различия в плотности растительности, а NDWI (с диапазоном от -0,4260 до 0,2101) отражает вариации в содержании воды в почве. Индекс BSI (от -0,5357 до -0,2561) подтверждает наличие участков с оголённой почвой. Эти индексы вместе предоставляют полезную информацию для мониторинга экосистемных изменений и состояния почвы, что имеет важное значение для эффективного управления земельными ресурсами.

В целом, комплексный подход к анализу индексов позволил не только количественно охарактеризовать текущее состояние растительности и почвенного покрова, но и выявить ключевые экологические особенности территории, что является важной предпосылкой для дальнейших работ по мониторингу, охране и рациональному использованию природных ресурсов Сарыкольского района.

4 Деградация почв и рекомендации по их улучшению

4.1 Комплексная оценка состояния почв

Охрана почв и поддержание их плодородия сегодня относятся к числу приоритетных экологических задач. Стабильное функционирование биосферы во многом зависит от состояния почвенного покрова, а потому сохранение и улучшение плодородия почв является ключевым условием обеспечения экологической устойчивости всей биосферы на планете.

Деградация почв — одно из наиболее актуальных экологических вопросов, затрагивающих многие регионы мира, включая территорию Сарыкольского района. Этот процесс проявляется в изменении физических, химических и биологических свойств почвы в сторону их ухудшения, что приводит к понижению ее продуктивности и функциональности в экологических отношениях. В аграрном пользовании земель деградация почв приводит к утратам плодородия, снижению водоудерживающей способности и, следовательно, к усилению рисков экосистемных изменений.

Для оценки рисков деградации почвы должны учитываться многие факторы, влияющие на качество почвы, такие как органический компонент (гумус), содержание питательных веществ, а также природные и антропогенные воздействия. Приоритетным является выявление областей наиболее высоких рисков деградации на основе анализа данных о содержании ключевых компонентов почвы. Процесс деградации почв может быть вызван как природными, так и антропогенными факторами.

Среди природных факторов наиболее важными являются климатические условия (в первую очередь, уровень осадков и температурный режим), а также особенности геологического строения и топографии региона. Антропогенные факторы включают сельскохозяйственное использование, неправильное применение удобрений и ирригационных систем, вырубка лесов и изменение природных ландшафтов. Непосредственный участник деградационного процесса - недостаток органического вещества в почве. Оно служит основой для поддержания биологической активности и водоудерживающей способности. Низкое содержание гумуса приводит к ухудшению структуры почвы, снижению ее способности удерживать воду и питательные вещества, что увеличивает подверженность почвы эрозионному процессу.

На основе ранее рассчитанных спектральных индексов – NDVI, SAVI, NDWI, BSI – был вычислен индекс деградации почв (Soil Degradation Index), изображенный на рисунке 4.1. Это интегральный показатель, используемый для оценки степени деградации почвенного покрова на основе спутниковых данных и производных спектральных индексов. В научной литературе SDI рассматривается как эффективный инструмент, позволяющий количественно характеризовать пространственные различия в состоянии почв, опосредованно отражая утрату плодородия, уменьшение растительного покрова и увеличение площади открытой поверхности. Расчёт индекса осуществляется путём

нормализации значений индексов с последующим агрегированием этих параметров в единую шкалу деградации по формулам, указанным в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Формулы нормализации значений индексов и расчёт SDI

Индекс	Формула
NDVI	$(\text{"NDVI"} + 0.1702) / 0.6026$
SAVI	$(\text{"SAVI"} + 0.2554) / 0.9039$
NDWI	$(\text{"NDWI"} + 0.4260) / 0.6361$
BSI	$(\text{"BSI"} + 0.535729) / 0.279586$
SDI	$((\text{"1 - NDVI"}) + (\text{"1 - SAVI"}) + (\text{"1 - NDWI"}) + \text{"BSI"}) / 4$

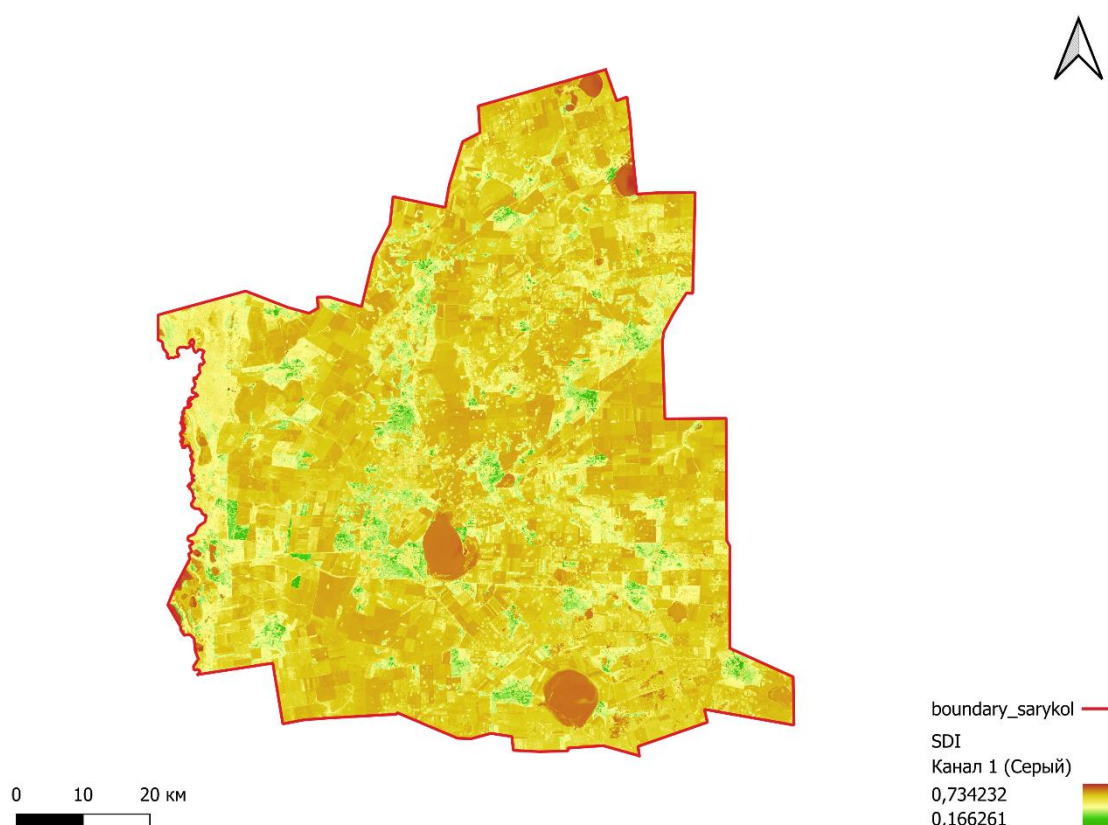


Рисунок 4.1 – Индекс деградации почв

Анализ пространственного распределения индекса деградации почв позволил выявить существенные различия в уровне деградационных процессов на территории исследования. Значения SDI варьируются в пределах от 0.1662 до 0.7342, что свидетельствует о наличии как участков с незначительной деградацией, так и территорий, подверженных выраженному ухудшению почвенного покрова. Низкие значения индекса (в диапазоне 0.16–0.30) соответствуют зонам с устойчивым растительным покровом, достаточным уровнем влажности и низкой степенью нарушения структуры почв, что

указывает на благоприятное агроэкологическое состояние. В то же время высокие значения (свыше 0.6) зафиксированы на участках с редким или деградированным растительным покровом, повышенной отражательной способностью почв и признаками потери плодородного слоя, что может быть связано с антропогенным воздействием, неправильным землепользованием и засушливыми условиями.

Комплексный анализ агрохимических показателей и спектральных индексов выявляет логически взаимосвязанную картину состояния почв Сарыкольского района. Низкие значения NDVI и SAVI в сочетании с минимальными уровнями NDWI отражают слабое развитие растительного покрова и дефицит влаги, что типично для территорий с нарушенной структурой и сниженной биологической активностью почвы. Эти наблюдения находят подтверждение в агрохимических характеристиках: преобладание низкого содержания гумуса и азота формирует среду с ослабленным круговоротом органического вещества, что, в свою очередь, снижает продуктивность растительного покрова и ухудшает спектральные сигналы в растительных индексах.

Высокие значения BSI, как индекса, чувствительного к оголённым и минеральным почвам, указывают на участки с признаками эрозии или уплотнения, что также согласуется с недостаточной биомассой и сниженной влагоёмкостью. При этом обеспеченность калием остаётся высокой, однако избыточное содержание этого элемента без сбалансированного взаимодействия с гумусом и азотом не способствует восстановлению почвенного плодородия. Почвы Сарыкольского района обладают средним агроэкологическим потенциалом, что подтверждается бонитетными баллами (41 по общесоюзной и 49 по казахстанской шкале) и преобладанием средних и низких уровней содержания гумуса и азота.

На основе интегрального значения индекса деградации почв ($SDI = 0,6$) территорию Сарыкольского района целесообразно отнести к зоне умеренной деградации, что свидетельствует о частичной утрате почвенного потенциала и необходимости проведения мероприятий по восстановлению плодородия. Почвы района испытывают функциональное истощение, проявляющееся как в недостатке питательных веществ, так и в ухудшении экологических условий — влагообеспеченности, структуры и биологической активности.

Таким образом, между дистанционными наблюдениями и агрохимическими параметрами прослеживается устойчивая причинно-следственная связь: низкое содержание органических веществ и макроэлементов влечёт за собой деградацию растительного покрова и ухудшение физических свойств почвы, что фиксируется как визуально на местности, так и через спектральные данные дистанционного зондирования. Это подтверждается результатами анализа индексов, значения которых снижаются в зонах с истощёнными почвами. Такое соответствие указывает на возможность использования дистанционного зондирования как эффективного инструмента для мониторинга почвенного плодородия и оценки уровня деградации земель.

4.2 Карты потребности в удобрениях

Стабильные урожаи и сохранение почвенного плодородия — именно к этим результатам стремятся при использовании минеральных удобрений, что и определяет их основное назначение.

На основе пространственного распределения содержания гумуса, обменного калия, подвижного фосфора и легкогидролизуемого азота были составлены тематические карты потребности в удобрениях. Формулы для расчёта потребности в удобрениях с использованием программного обеспечения QGIS приведены в приложении Б. На рисунке 4.2 представлена пространственная дифференциация потребности в удобрениях для пашенных почв Сарыкольского района. Детальные карты с полной легендой доступны в приложении В.

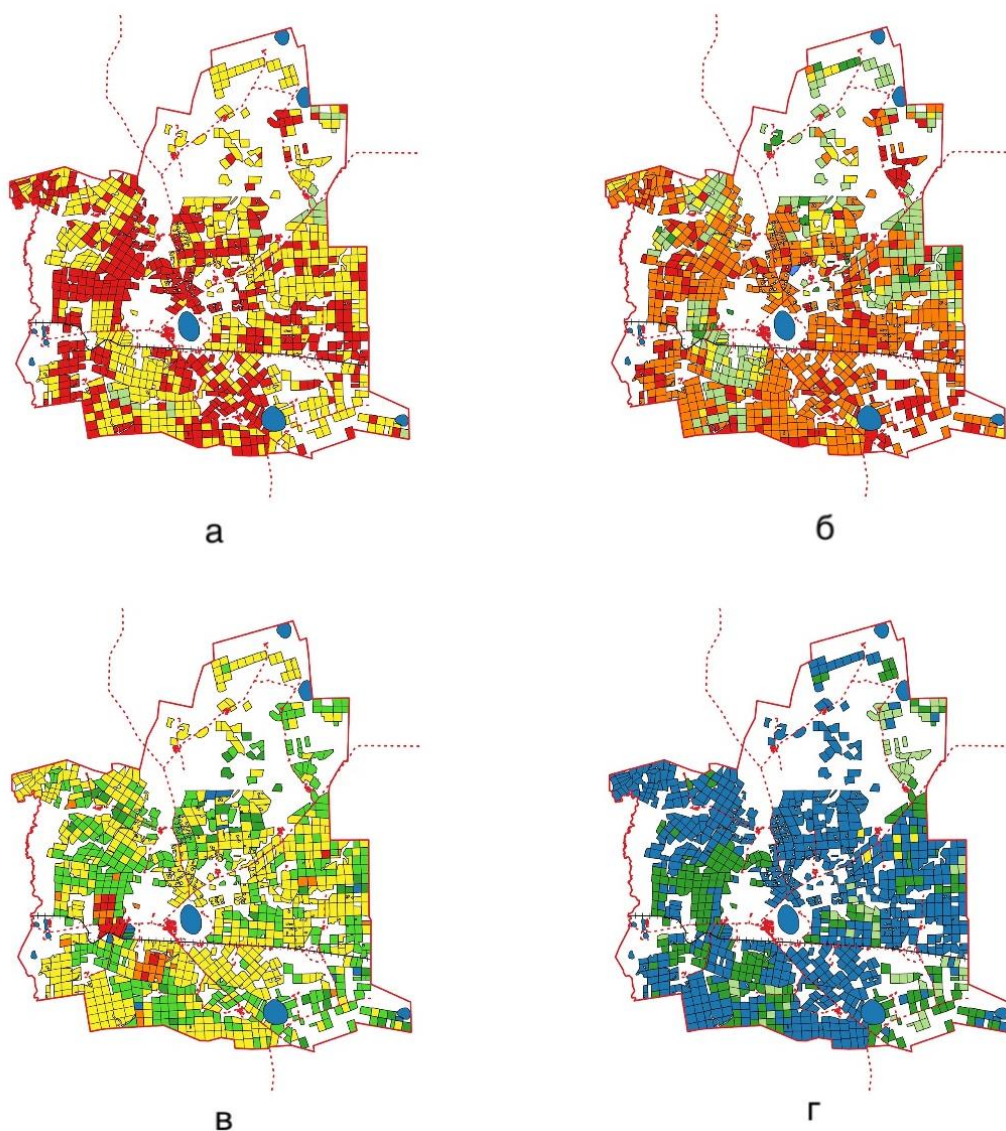


Рисунок 4.2 – Пространственная дифференциация потребности в удобрениях:
а – органические, б – азотные, в – фосфорные, г – калийные

Проведённый анализ потребности в удобрениях по агрохимическим показателям почв Сарыкольского района подтверждает высокую неоднородность их плодородия, что требует внедрения дифференцированной системы удобрения. Наиболее остро стоит вопрос повышения содержания органического вещества и азота на обширных территориях с низким уровнем обеспеченности. Внесение органических и минеральных удобрений на таких участках является ключевым фактором повышения агропроизводительности.

Содержание азота в почвах варьирует от крайне низкого до избыточного, что требует строго дозированного подхода: при низком уровне необходимы дополнительные дозы, а при избыточном — полное исключение азотного питания. Это позволяет не только эффективно использовать ресурсы, но и снижать риск загрязнения окружающей среды.

Ситуация с фосфором в целом благоприятная: значительная часть сельхозугодий имеет достаточное и повышенное содержание подвижного фосфора. Однако участки с дефицитом фосфора требуют целенаправленного внесения удобрений для восстановления баланса элементов питания.

По калийному обеспечению район также демонстрирует преимущественно высокий и очень высокий уровень, что позволяет сократить или минимизировать применение калийных удобрений, за исключением отдельных участков с умеренной потребностью.

Исходя из проведенного анализа, становится очевидной необходимость применения дифференцированного подхода к агрохимическому обслуживанию почв района. Учитывая разнообразие уровней обеспеченности почвы ключевыми питательными элементами, можно утверждать, что каждый участок требует индивидуальных решений в плане внесения удобрений. Важнейшим фактором для достижения оптимальной эффективности сельскохозяйственного производства является учет различий в содержании гумуса, азота, фосфора и калия, что открывает путь к более точному и сбалансированному распределению удобрений. В конечном итоге, рациональное использование агрохимических ресурсов поможет сохранить долгосрочное плодородие почвы, поддерживая баланс между экономической эффективностью и сохранением экологической целостности региона. Эти карты позволили выявить участки с дефицитом основных элементов питания и зонировать территорию по степени обеспеченности макроэлементами, что создает основу для дифференцированного внесения удобрений. Такой подход способствует повышению эффективности агрохимического воздействия, оптимизации затрат и восстановлению плодородия почв.

4.3 Рекомендации по улучшению состояния почв

Множество исследований сходится в одном: без регулярного мониторинга почв не обойтись — именно он даёт шанс вовремя заметить деградацию, распознать истощение и вовлечь ресурсы для восстановления. За всей этой

системой стоит методологический фундамент, включающий агрохимию, дистанционные подходы и ГИС-технологии — вместе они выстраивают объективную картину состояния почв: их состава, структуры и качества.

В последние годы отчётливо прослеживается устойчивая тенденция: технологии дистанционного зондирования Земли всё увереннее интегрируются в практику почвенного анализа. Их использование, в сопряжении с результатами полевых наблюдений, формирует многоуровневую и целостную систему оценки состояния почвенного покрова. На этом фоне особую значимость приобретают спектральные индексы — NDVI, SAVI, GCI, BI — наряду с показателями влажности и содержания органического вещества. Эти индексы и показатели позволяют неинвазивно оценить биопродуктивность и потенциальную урожайность, предоставляя точные и надежные данные для анализа.

На основе проведённого комплексного анализа состояния земельных ресурсов Сарыкольского района, включающего расчёт спектральных индексов и агрохимических показателей, были разработаны рекомендации для оптимизации управления земельными ресурсами и минимизации деградационных процессов.

Для обеспечения устойчивого роста сельскохозяйственного производства в Сарыкольском районе требуется приобретение и внесение до 10 тыс. тонн минеральных удобрений. Однако, в настоящее время этот вопрос решается лишь ограниченным числом хозяйств. В частности, ежегодно минеральные удобрения закупаются только до 80 сельскохозяйственными предприятиями. Оставшиеся сельхозпроизводители либо используют минеральные удобрения в минимальных количествах, либо вовсе отказываются от их применения. В 2024 году 69 хозяйств закупили минеральные удобрения в объеме 8 499 тонн, которые были внесены на площади 94,4 тыс. га. Это свидетельствует о том, что лишь небольшая часть сельскохозяйственных угодий использует минеральные удобрения в необходимых объемах. Это ограничивает их потенциал для повышения урожайности и улучшения качества сельскохозяйственной продукции. Согласно планам на 2025 год, общий объем минеральных удобрений, подлежащих внесению в районе, составит 11 900 тонн. Это увеличение на 3 400 тонн в сравнении с предыдущим годом, что связано с необходимостью улучшения состояния почвы и повышения агрономических характеристик земли. В связи с этим, крайне важно обеспечить полноценное внесение удобрений для всех землепользователей, что позволит существенно увеличить урожайность и качество сельскохозяйственной продукции [21].

Необходимость повышения уровня применения минеральных удобрений в районе обусловлена также необходимостью обеспечения продовольственной безопасности и повышения эффективности агропроизводства. В условиях изменения климата и деградации почв минеральные удобрения становятся неотъемлемым элементом для поддержания и увеличения продуктивности сельскохозяйственных земель.

Для улучшения состояния почв Сарыкольского района необходимо принять дифференцированный подход к внесению удобрений, учитывая текущее состояние элементов питания. Почвы с дефицитом фосфора, гумуса и азота

требуют интенсивного внесения органических и минеральных удобрений, чтобы восполнить дефицит этих важных элементов и улучшить агрономическую продуктивность. В то же время, почвы с избытком калия и фосфора не нуждаются в дополнительном внесении этих элементов, что поможет избежать их накопления и сохранит баланс питательных веществ.

Для участков с умеренным и средним уровнем гумуса и калия следует применять умеренные дозы удобрений, поддерживая плодородие и обеспеченность почв, не перегружая их. Важно учитывать, что почвы с высоким содержанием гумуса уже обладают достаточным запасом органического вещества, и дополнительные удобрения должны быть минимальными.

Не менее важным элементом в управлении состоянием почвы является контроль за водным балансом. Дефицит водных ресурсов в Сарыкольском районе является одним из ключевых факторов, способствующих деградации почвенного покрова. Ограниченный водный баланс, характеризующийся низким уровнем атмосферных осадков и высоким испарением, приводит к истощению влагозапасов в почве, что отрицательно сказывается на её физико-химических свойствах и биологической активности. В результате снижается содержание органического вещества, угнетается рост растительности, усиливаются процессы эрозии и вторичного засоления. Особенно уязвимыми становятся пахотные земли, подверженные как ветровой, так и водной эрозии в условиях дефицита влаги. В связи с дефицитом почвенной влаги, выявленным через индекс NDWI, рекомендуется внедрение влагосберегающих агротехнологий, таких как минимальная обработка почвы, использование покровных культур, севообороты с засухоустойчивыми растениями, а также развитие локальных систем водоудержания и капельного орошения. Кроме того, целесообразно проведение лесомелиоративных мероприятий и мониторинг состояния земель на основе дистанционного зондирования, что позволит своевременно выявлять очаги деградации и принимать обоснованные меры по их восстановлению.

Низкие значения фотосинтетической активности (NDVI и SAVI) указывают на необходимость восстановления растительности на деградированных землях путём использования агролесоводческих практик, таких как севообороты с водоудерживающими культурами, что способствовало бы увеличению продуктивности растительного покрова. Согласно рекомендациям научных учреждений, для эффективного использования земель в зоне Сарыкольского района необходимо вводить в севообороты масличные, зернобобовые и кормовые культуры. При этом доля зерновых культур в структуре севооборота не должна превышать 50% от общей площади пашни, а доля парового поля — 16% [21].

На основе проведённого анализа наблюдается низкое содержание гумуса в почвах Сарыкольского района, что свидетельствует о необходимости повышения уровня органического вещества для улучшения их состояния. Для этого целесообразно ввести систематическое применение органических удобрений, таких как навоз, компост и сидераты, что способствует восстановлению гумусного слоя и улучшению физико-химических свойств

почвы. Кроме того, использование растительных остатков в качестве мульчи позволит минимизировать вынос органики с полей, что в свою очередь поможет сохранить и повысить почвенное плодородие.

Для успешной реализации предложенных мероприятий крайне важно проводить регулярный мониторинг состояния почв. Включение в систему мониторинга таких параметров, как содержание гумуса, pH почвы, уровень азота, фосфора и калия, позволит оперативно оценивать эффективность предпринимаемых мер и корректировать агротехнические подходы в зависимости от изменения состояния почвы. Применение геоинформационных технологий (ГИС) и дистанционного зондирования Земли для мониторинга состояния почв может значительно повысить точность оценки и ускорить процесс принятия решений.

Применение предложенных рекомендаций по совершенствованию состояния почв Сарыкольского района является ценным шагом к устойчивому использованию земельных ресурсов. Внесение органических удобрений, эффективное применение севооборота, агротехнических мероприятий и контроль за водным балансом позволят существенно повысить качество почвы, сократить риски эрозии и обеспечить стабильность сельскохозяйственного производства. Совершенствование методов управления почвами, основанное на научных данных и регулярном мониторинге, создаст условия для долгосрочного восстановления и сохранения экосистемы региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого исследования была выполнена пространственная оценка содержания гумуса, фосфора, калия и азота на основе оцифрованных почвенных карт и данных спектральных индексов. Построены тематические карты распределения элементов питания, рассчитаны площади по уровням обеспеченности, произведена оценка запасов гумуса и баллов бонитета по общесоюзной и казахстанской методикам. Дополнительно рассчитаны и проанализированы индексы, что позволило установить пространственные зависимости между показателями почвенного плодородия и отражательной способностью земной поверхности. Особо значимым результатом является построение карты потребности в минеральных удобрениях, позволяющей дифференцировать подходы к агрохимическому обслуживанию территорий в зависимости от фактической обеспеченности элементами питания.

Выполненный анализ агрохимических показателей и спектральных индексов пашенных земель Сарыкольского района имеет практическую значимость не только для оценки современного состояния почв, но и в контексте земельного кадастра. Полученные пространственные данные о содержании гумуса, фосфора, калия и азота, а также рассчитанные баллы бонитета, могут быть использованы для уточнения кадастровой информации о качестве сельскохозяйственных угодий. Такие сведения позволяют более объективно оценивать потенциальную продуктивность земель, что важно при определении их кадастровой стоимости, планировании рационального землепользования и проведении мероприятий по охране почв.

С научной точки зрения работа представляет ценность как пример комплексного применения ГИС-технологий и спутниковых данных для оценки агроэкологических условий. Полученные количественные характеристики имеют практическое значение для планирования рационального использования земельных ресурсов, оптимизации агротехнологий и разработки рекомендаций по внесению минеральных удобрений с учётом пространственной неоднородности почв.

Технико-экономическая эффективность работы обусловлена сокращением времени и затрат на полевые исследования за счёт использования дистанционных данных и автоматизированных методов анализа. Применённые подходы могут быть масштабированы и внедрены в аналогичных агроландшафтах для мониторинга состояния почв и поддержки принятия решений в земледелии.

Работа завершена получением новых качественных и количественных характеристик агроэкологического состояния почв Сарыкольского района, разработкой методики интеграции данных дистанционного зондирования с почвенной информацией, а также формированием картографических продуктов, пригодных для дальнейшего использования в землеустройстве, агроэкологии и управлении сельскохозяйственным производством.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Казеев К.Ш., Колесников С.И. (отв. ред.) Почвоведение: Учебник для вузов. Москва: Издательство Юрайт, 2014. – 427 с.
- 2 Кирюшин В. И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // Почвоведение. — 2019. — № 9. — С. 1130–1139.
- 3 Мониторинг плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Алтайского края: справочник / Н. С. Халин, И. В. Назарова, С. А. Симакова и др. — Барнаул: Параграф, 2018. — С. 4–11.
- 4 Азот в почвах рисовых полей / А. Х. Шеуджен, О. А. Гуторова, Х. Д. Хурум и др. // Земледелие. — 2020. — № 8. — С. 15–19.
- 5 Сарыкольский район // Казахстан. Национальная энциклопедия. — Алматы: Қазақ энциклопедиясы, 2006. — Т. IV.
- 6 Карта Костанайской области [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://mapsworld.ru/subekty-rf-na-karte/karta-kostanajskoj-oblasti.html> (дата обращения: 21.02.2025).
- 7 Агроклиматические ресурсы Костанайской области: научно-прикладной справочник / под ред. С. С. Байшоланова. — Астана, 2017. — 139 с.
- 8 Топографическая карта Казахстана [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ru-ru.topographic-map.com> (дата обращения: 21.02.2025).
- 9 Акимат Сарыкольского района [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.gov.kz/kostanai-sarykol-audany-akimat> (дата обращения: 21.02.2025).
- 10 Гафурова Л.А., Алябина И.О., Набиева Г.М., Джапилова Г.Т., Мамбетназаров М.С. ГИС-технологии в почвоведении: учебник. – Ташкент: Donishmand Print, 2019. – 256 с.
- 11 Малинин С. Н., Маланина А. С., Кулагин И. П. Изменение гумусного состояния пахотных почв Костанайской области // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Региональные проблемы НТП в сельском хозяйстве». — Костанай: ШИ, 1999. — М.: Изд-во Каз. 2. — С. 163–169.
- 12 Амергужин Х. А. Агроэкологическая оценка почв Костанайской области Казахстана. — Астана, 2004. — 438 с.
- 13 Амергужин Х. А. Агроэкологическая характеристика почв Северного Казахстана: дис. ... д-ра с.-х. наук. — Москва, 2003. — 465 с.
- 14 Алдамжар З. А., Мурзалин С. К. Костанайская область. Энциклопедия. — Алматы: Издательский дом «Арыс», 2006. — 128 с.
- 15 Бильдебаева Р., Жалонкату Т. Изменение плодородия почв Северного Казахстана в результате их освоения // Почвенно-агрохимические и экологические проблемы формирования высокопродуктивных агроценозов: тезисы докладов Всесоюзной конференции. — Пушкино, 1988. — С. 67–68.
- 16 Аханов Ж. У., Козыбаева Ф. Е. Почвообразование в антропогенно-техногенных условиях Казахстана // В сб. «Проблемы антропогенного

почвообразования». — М.: Почвы, Ин-т им. В. В. Докучаева, 1997. — С. 263–266.

17 Шилова И., Шилов М. П. Гумусное состояние освоенных и целинных черноземов Кустанайской области // В сб. «Наука сельского хозяйства». — Кустанай: Кустанайский сельскохозяйственный ин-т, п. Заречный, 1992. — С. 19–20.

18 Об утверждении Методики проведения бонитировки почв: Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 26 октября 2022 г. № 342.

19 Рассыпнов В. А., Соврикова Е. М. Бонитировка почв как основа кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2012. — № 11(97). — С. 103–106.

20 Бонитировка почв / Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.ektu.kz> (дата обращения: 24.03.2025).

21 Анализ, результат и перспективы АПК [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://qagro.kz/2024/11/28/analiz-rezultat-i-perspektivy-apk/> (дата обращения: 10.04.2025).

Приложение А

Таблица А.1 – Содержание элементов в почвах и распределение по площади

Элемент	Содержание (мг/кг, %)	Классификация	Площадь (га)
Подвижный фосфор	< 10	очень низкое	5106,6
	11 – 15	низкое	9481,2
	16 – 30	среднее	183652,6
	31 – 45	повышенное	110310,7
	46 – 60	высокое	15959,1
	> 60	очень высокое	3582,5
Гумус	2,1 – 4,0	низкое	142325,4
	4,1 – 6,0	среднее	177719,6
	6,1 – 8,0	повышенное	8623,7
Обменный калий	201 – 300	среднее	1982,1
	301 – 400	повышенное	22513,0
	401 – 600	высокое	74161,1
	> 600	очень высокое	229956,8
Легкогидролизуемый азот	< 30	очень низкое	51710,4
	31 – 40	низкое	176128,9
	41 – 50	среднее	32499,7
	51 – 70	повышенное	57657,6
	71 – 100	высокое	9295,3
	> 100	очень высокое	365,8

Приложение Б

Таблица Б.1 – Формулы для расчёта потребности в удобрениях в QGIS

Элемент	Формула
Гумус	CASE WHEN "value" LIKE '2,1-4,0' THEN 'высокая' WHEN "value" LIKE '4,1-6,0' THEN 'средняя' WHEN "value" LIKE '6,1-8,0' THEN 'низкая' END
Легкогидролизуемый азот	CASE WHEN "value" LIKE '<30' THEN 'оч.высокая' WHEN "value" LIKE '31-40' THEN 'высокая' WHEN "value" LIKE '41-50' THEN 'средняя' WHEN "value" LIKE '51-70' THEN 'низкая' WHEN "value" LIKE '71-100' THEN 'оч.низкая' WHEN "value" LIKE '>100' THEN 'нет потреб.' END
Подвижный фосфор	CASE WHEN "value" LIKE '<10' THEN 'оч.высокая' WHEN "value" LIKE '11-15' THEN 'высокая' WHEN "value" LIKE '16-30' THEN 'средняя' WHEN "value" LIKE '31-45' THEN 'низкая' WHEN "value" LIKE '46-60' THEN 'оч.низкая' WHEN "value" LIKE '>60' THEN 'нет потреб.' END
Обменный калий	CASE WHEN "value" LIKE '201-300' THEN 'средняя' WHEN "value" LIKE '301-400' THEN 'низкая' WHEN "value" LIKE '401-600' THEN 'оч. низкая' WHEN "value" LIKE '600' THEN 'нет потреб.' END

Приложение В

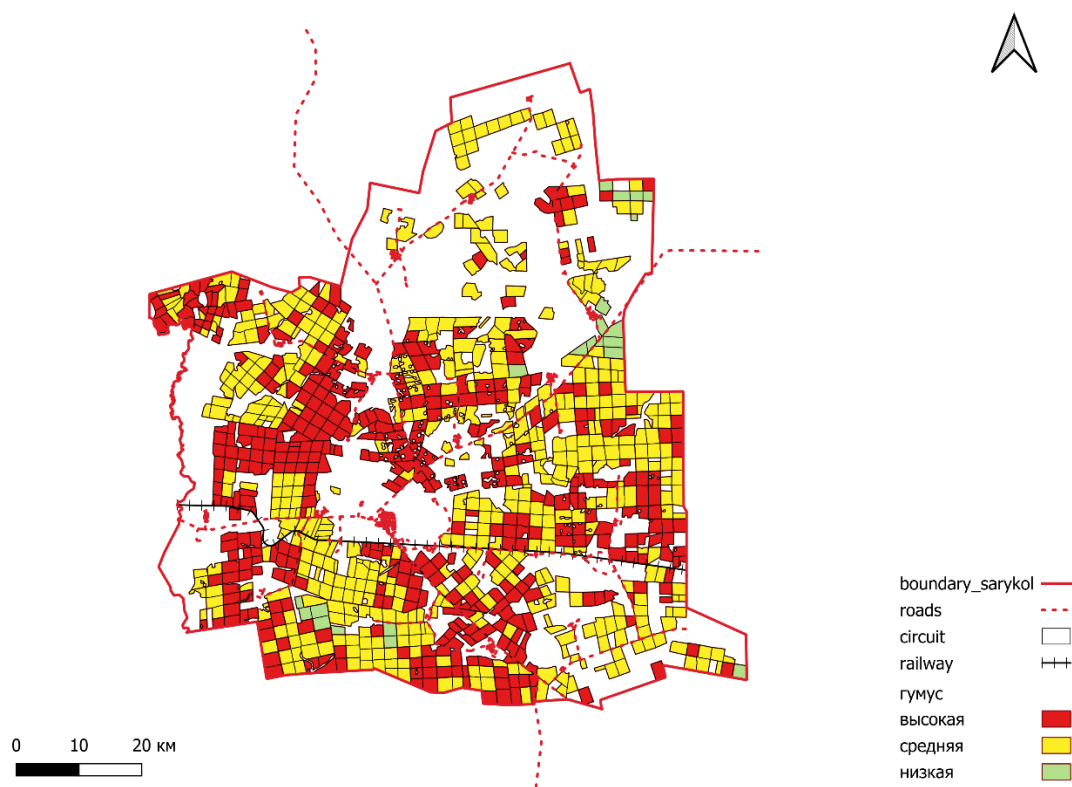


Рисунок В.1 – Карта потребности в органических удобрениях

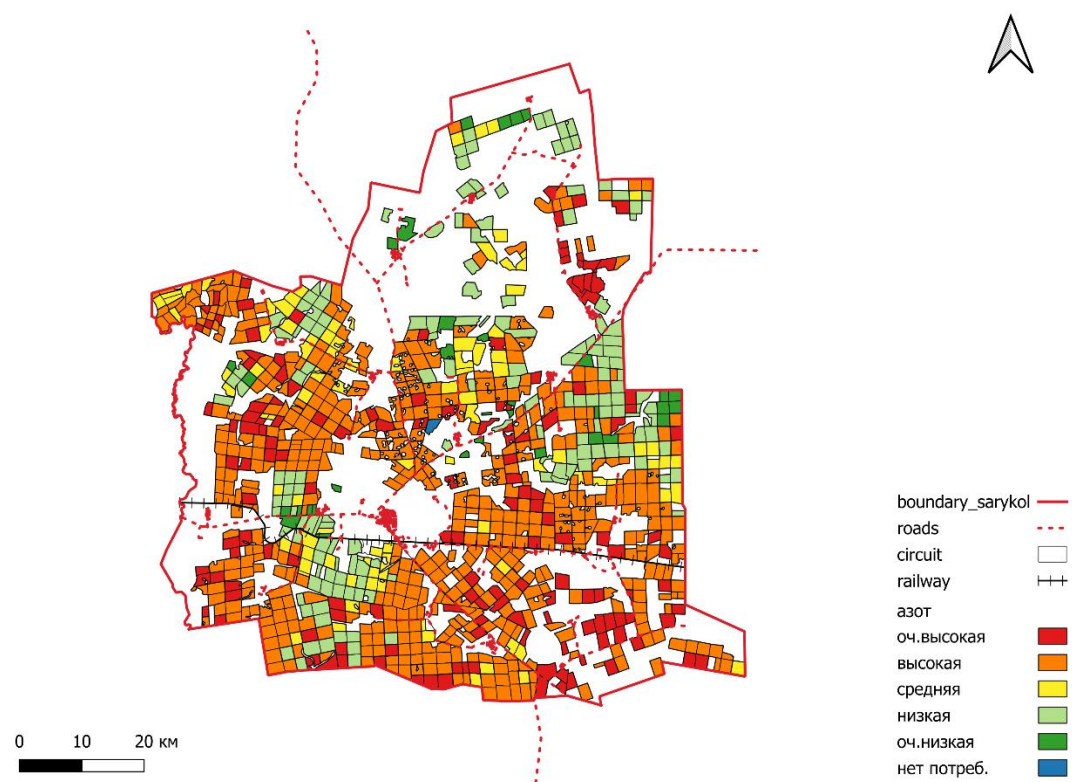


Рисунок В.2 – Карта потребности в азотных удобрениях

Продолжение В

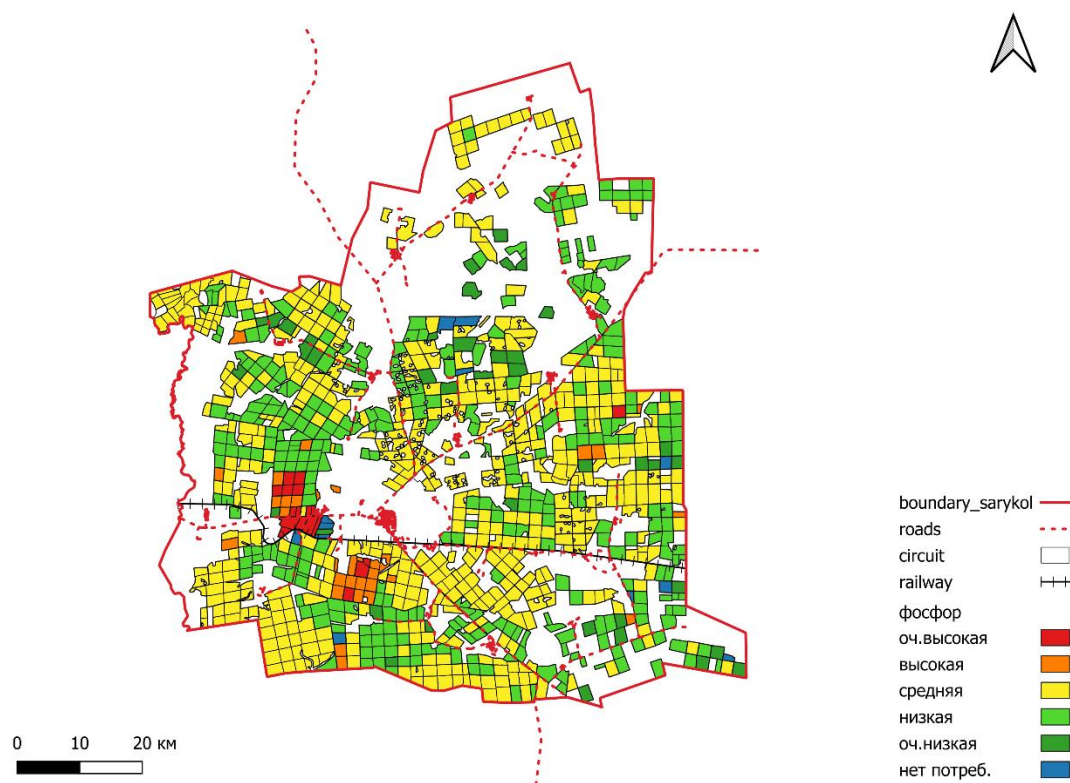


Рисунок В.3 – Карта потребности в фосфорных удобрениях

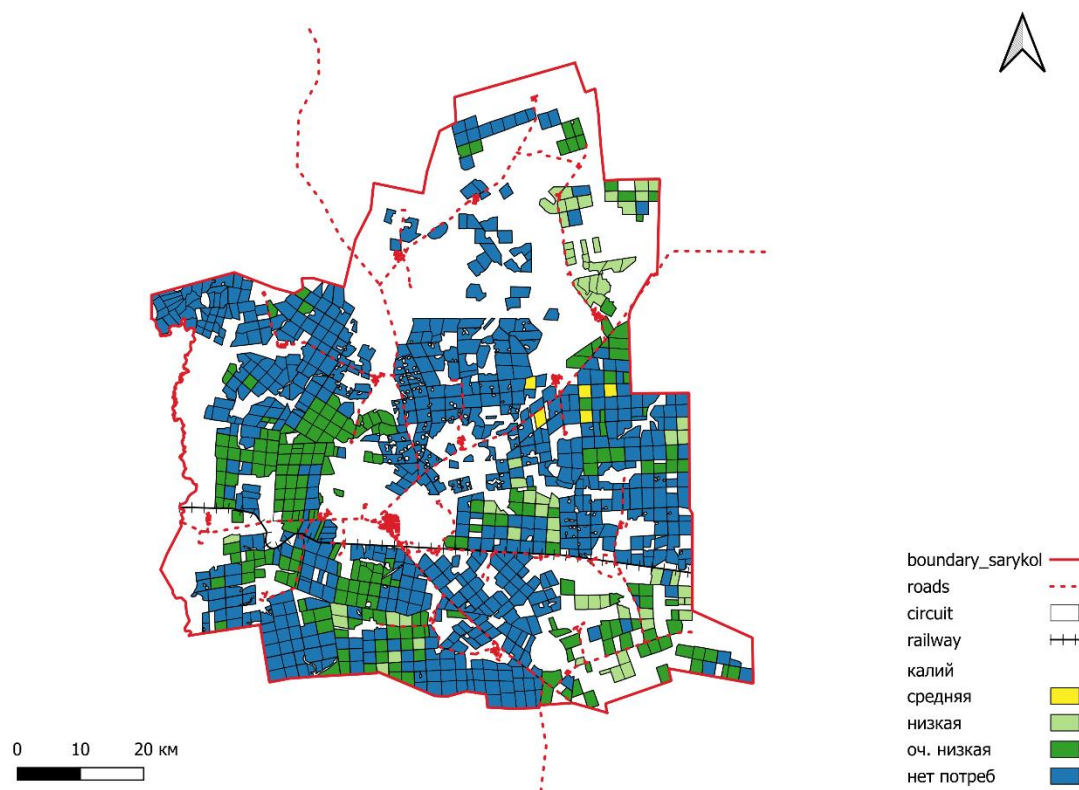


Рисунок В.4 – Карта потребности в калийных удобрениях

Подпись Омуржановой Н.Т.
заверяю
HR департамент В
« » 20

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

На дипломную работу
Калиева Дильнара Ерсыновна
6807304 - Геопространственная цифровая инженерия

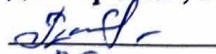
На тему: «Оценка современного состояния почв Сарыкольского района Костанайской области»

Дипломная работа студента посвящена актуальной теме оценки состояния почв Сарыкольского района Костанайской области. Студент показал хорошее владение методами геоинформационного анализа, умение работать с агрохимическими и пространственными данными, применять инструменты дистанционного зондирования и ГИС для комплексной оценки состояния почв.

Особо следует отметить качественную визуализацию результатов — картографические материалы стали важным этапом исследования. Построенные карты содержания элементов питания, запасов гумуса и потребности в удобрениях позволили наглядно отразить пространственные особенности почвенного покрова и усилить прикладную направленность работы. Студент продемонстрировал глубокое понимание теоретических и практических аспектов ГИС-технологий и их применения. Дипломная работа студента представляет высокий уровень профессиональных навыков, глубокое понимание темы и значимый вклад в область геопространственной цифровой инженерии. Комплексный подход и использование современных технологий делают результаты исследования надёжными и востребованными для практического применения в области геопространственной цифровой инженерии.

В связи с вышеизложенным, дипломная работа Калиевой Д.Е. заслуживает оценки «97» и достойна присвоения степени бакалавра по специальности «Геопространственная цифровая инженерия».

Научный руководитель
доктор PhD, ассоц. профессор

 Токтар М.
«05» 06 2025 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Калиева Дильнара Ерсыновна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: дипломная Калиева Д.Е.

Научный руководитель: Оқытушы Орынбасар Байтурбай

Коэффициент Подобия 1: 2.4

Коэффициент Подобия 2: 0.5

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата

10.06.



Заведующий кафедрой

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Калиева Дильнара Ерсыновна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: дипломная Калиева Д.Е.

Научный руководитель: Оқытушы Орынбасар Байтурбай

Коэффициент Подобия 1: 2.4

Коэффициент Подобия 2: 0.5

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата

19.06


проверяющий эксперт

