

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

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

Горно-металлургический институт имени А.О. Байконурова

Кафедра маркшейдерского дела и геодезии

Мемельбекова Лия Рустамовна

Мониторинг распределения снежного покрова в горных районах Казахстана на основе
данных спутникового зондирования с использованием ГИС.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B07304–Геопространственная цифровая инженерия

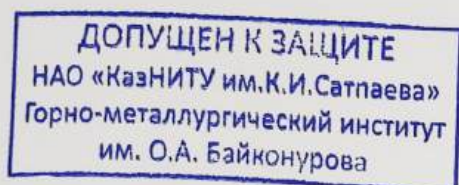
Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

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

Горно-металлургический институт имени А.О. Байконурова

Кафедра «Маркшейдерское дело и геодезия»



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

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

Мейрамбек Г.
«10» июня 2025 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Мониторинг распределения снежного покрова в горных районах Казахстана на
основе данных спутникового зондирования с использованием ГИС»

6B07304 – Геопространственная цифровая инженерия

Выполнил:

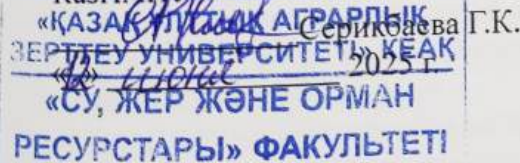
Мемельбекова Л.Р.

Рецензент

Магистр тех. наук

ст. преподаватель

КазНАИУ,



Научный руководитель

Доктор PhD

ст. преподаватель

КазНТУ

Камза А.Т.
«09» июня 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»

6B07304 – Геопространственная цифровая инженерия

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
«Маркшейдерское дело и геодезия»,
к.т.н., асс. профессор
Мейрамбек Г.

«30» июня 2025 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Мемельбекова Лия Рустамовна

Тема: «Мониторинг распределения снежного покрова в горных районах Казахстана на основе данных спутникового зондирования с использованием ГИС»

Утверждена приказом Проректора по академическим вопросам №26-П/Ө от 29.01.2025 г.

Срок сдачи законченной работы «30» мая 2025г.

Исходные данные к дипломной работе: Спутниковые данные с портала USGS, ЦМР с веб-портала Copernicus Open Access Hub, кадастровые данные с национального портала ЕГКН.

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Теоретические основы дистанционного зондирования и мониторинга снежного покрова
- б) Анализ физико-географических условий горных районов Восточно-Казахстанской области
- в) Методика обработки спутниковых данных и расчет индекса NDSI
- г) Построение цифровой модели рельефа (ЦМР), карт уклонов и экспозиции
- д) Пространственный анализ распределения снежного покрова в зависимости от высоты, экспозиции и землепользования

Перечень графического материала: *представлены 20 слайдов презентации работы*

Рекомендуемая основная литература: *из 13 наименований*

1 Кауазов А.М., Тілләкәрім Т.А., Сальников В.Г., Полякова С.Е. - Оценка изменений площади снежного покрова в Казахстане с 2000 по 2022 год // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2023.

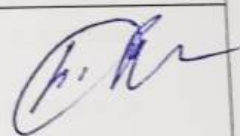
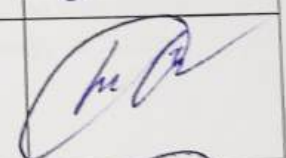
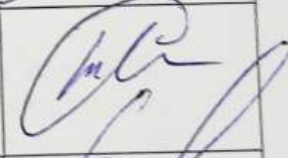
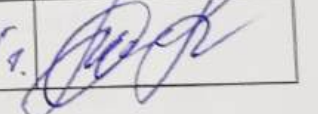
2 Poussin C., Timoner P., Chatenoux B., Giuliani G., Peduzzi P. Improved Landsat-based snow cover mapping accuracy using a spatiotemporal NDSI and generalized linear mixed model // Science of Remote Sensing. – 2023.

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Теоретические и методологические основы учета снежного покрова в кадастровых исследованиях	28.02	—
Природно-кадастровая характеристика Восточно-Казахстанской области и Тарбагатайского района	12.03	—
Методика пространственного анализа снежного покрова с использованием ДЗЗ и ГИС для кадастровых целей	13.04	—

Подписи

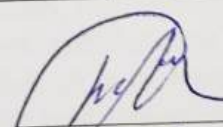
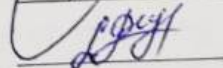
консультантов и норм контролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Теоретические и методологические основы учета снежного покрова в кадастровых исследованиях	Камза А.Т. доктор PhD. ст. преп.	09.02.25	
Природно-кадастровая характеристика Восточно-Казахстанской области и Тарбагатайского района	Камза А.Т. доктор PhD. ст. преп.	12.03.25	
Методика пространственного анализа снежного покрова с использованием ДЗЗ и ГИС для кадастровых целей	Камза А.Т. доктор PhD. ст. преп.	13.04.25	
Норм контролер	Киргизбаева Д.М. доктор PhD, ассоц.проф	13.06.25г.	

Научный руководитель

Задание принял к исполнению обучающийся

Дата

Камза А.Т.

Мемельбекова Л.Р.

« 30 » января 2025г

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыс Шығыс Қазақстан облысының таулы аймақтарындағы жер пайдалануға, кадастрлық аймақтарға бөлуге және аумақтардың тұрақтылығына әсер ететін маңызды табиғи факторлардың бірі ретінде қар жамылғысын кешенді талдауға арналған. Жұмыста қар жамылғысының жерге орналастыру мен кадастр салаларындағы рөлі, оның ауыл шаруашылығы алқаптарының өнімділігіне және геофизикалық қауіп-қатерлерге (көшкін, эрозия, су тасқыны) әсері қарастырылады.

Landsat 8–9 және MODIS спутниктік деректерін пайдалана отырып, қар жамылғысының индексі (NDSI) есептеліп, Copernicus сандық жер бедері моделінің көмегімен еңіс, беткей экспозициясы және биіктік белдеулерінің карталары жасалды. Қар жамылғысы динамикасының кеңістіктік-уақыттық талдауы жүргізіліп, оның жер санаттарымен өзара байланысы бағаланды.

Зерттеу нәтижелері қар факторын кадастрлық практикаға енгізудің қажеттілігін растады, сондай-ақ тиімсіз пайдаланылып жатқан жерлерді анықтауға мүмкіндік берді.

АННОТАЦИЯ

Данная дипломная работа посвящена комплексному анализу снежного покрова как одного из важных природных факторов, оказывающего влияние на землепользование, кадастровое зонирование и устойчивость территорий в горных районах Восточно-Казахстанской области. Рассмотрена роль снежного покрова в землеустройстве и кадастре, его влияние на продуктивность угодий, геофизические риски.

С применением спутниковых данных Landsat 8–9 и MODIS рассчитан индекс снежного покрова (NDSI), построены карты уклонов, экспозиции склонов и высотных поясов с использованием цифровой модели рельефа Copernicus DEM.

Проведён пространственно-временной анализ динамики снежного покрова и оценена его взаимосвязь с категориями земель. Результаты исследования подтвердили необходимость интеграции снежного фактора в кадастровую практику, а также позволили выявить нерационально используемые земли.

ABSTRACT

This thesis is devoted to a comprehensive analysis of snow cover as one of the important natural factors influencing land use, cadastral zoning, and territorial sustainability in the mountainous regions of the East Kazakhstan Region. The study examines the role of snow cover in land management and cadastral practices, its impact on land productivity, and associated geophysical risks.

Using satellite data from Landsat 8–9 and MODIS, the Normalized Difference Snow Index (NDSI) was calculated, and maps of slope, aspect, and elevation zones were generated based on the Copernicus Digital Elevation Model (DEM). A spatiotemporal analysis of snow cover dynamics was carried out, and its relationship with land categories was assessed.

The research results confirmed the necessity of integrating the snow factor into cadastral practice and made it possible to identify inefficiently used land areas.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Теоретические и методологические основы учета снежного покрова в кадастровых исследованиях	8
1.1 Значение снежного покрова как природного фактора в землеустройстве и кадастре	8
1.2 Влияние снежного покрова на землепользование в горных районах	9
1.3 Геофизические риски, связанные со снежным покровом, и их значение для кадастровых работ	10
1.4 Нормативно-правовые аспекты учета снежного покрова в кадастровом и землеустроительном регулировании	15
1.5 Потенциал применения ДЗЗ и ГИС-технологий в кадастровом мониторинге снежного покрова	17
2 Природно-кадастровая характеристика Восточно-Казахстанской области и Тарбагатайского района	20
2.1 Физико-географические особенности и климатическое районирование исследуемой территории	20
2.2 Земельно-ресурсный потенциал и структура землепользования	22
2.3 Роль рельефа и высотной поясности в формировании снежного покрова	22
2.4 Классификация и учет территорий, подверженных снежным рискам, в кадастровом контексте	24
3 Методика пространственного анализа снежного покрова с использованием ДЗЗ и ГИС для кадастровых целей	27
3.1 Концептуальная схема исследования	27
3.2 Подбор и подготовка спутниковых данных (Landsat 8-9 OLI, MODIS)	28
3.3 Расчет NDSI для выявления снежного покрова	31
3.4 Создание ЦМР и карты высотных поясов Восточно-Казахстанской области	36
3.5 Формирование карт уклонов и экспозиции склонов по Copernicus DEM	37
3.6 Пространственно-временной анализ динамики снежного покрова	40
3.7 Пространственный анализ распределения уклонов рельефа и их взаимосвязь с категориями землепользования	41
3.8 Практическая значимость и направления интеграции результатов в кадастровую практику	43
Заключение	45
Список используемой литературы	46
Приложение А	47

ВВЕДЕНИЕ

Современные методы землеустройства и кадастровой деятельности требуют комплексного анализа природных условий, оказывающих влияние на устойчивое и рациональное использование земельных ресурсов. Одним из ключевых природных факторов, влияющих на функционирование земельных участков, является снежный покров. Его характеристики такие как продолжительность залегания, толщина и равномерность распределения непосредственно влияют на целесообразность использования участков, на выбор вида угодий, а также на корректность зонирования по категориям земель и видам разрешённого использования. Включение этих данных в кадастровые исследования способствует более точному определению целевого назначения, оптимальной категории и режимов использования земельных участков, а также служит основой для принятия обоснованных решений в сфере территориального планирования и управления землепользованием.

В работе для пространственного анализа снежного покрова используются данные дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) в сочетании с геоинформационными системами (ГИС). На основе спутниковых снимков, геоинформационные системы позволяют оперативно обрабатывать, анализировать и визуализировать данные о распределении снежного покрова, продолжительности его залегания, а также учитывать природно-географические особенности территории – рельеф, уклоны и экспозицию склонов.

Целью данного исследования является проведение мониторинга пространственного распределения снежного покрова в горных районах Восточно-Казахстанской области с применением спутниковых данных и геоинформационных технологий, а также анализ его влияния на характер землепользования и распределение земель по категориям в рамках кадастровой деятельности.

Территория исследования: Восточно-Казахстанская область, Тарбагатайский район

Предмет исследования: Пространственные характеристики снежного покрова и их влияние на землепользование и распределение земель по категориям в кадастровой системе.

Методы исследования:

- Анализ спутниковых данных (Landsat 8–9, MODIS);
- Расчёт индекса снежного покрова (NDSI);
- Применение ГИС-анализа в ArcGISPro;
- Моделирование рельефа с использованием цифровой модели Copernicus DEM;
- Картографический анализ и визуализация данных;
- Сравнительно-географический и кадастровый анализ.

1. Теоретические основы мониторинга снежного покрова в кадастровых исследованиях с использованием ДЗЗ и ГИС

1.1 Значение снежного покрова как природного фактора в землеустройстве и кадастре

Снежный покров выступает ключевым природным элементом, который формирует базовые условия для землепользования, особенно в горных и предгорных районах. Его сезонное покрытие и пространственные параметры определяют водный баланс, термальный режим почв и сроки начала весенних полевых работ. Талая вода, аккумулируемая в виде снега, весной обеспечивает раннее увлажнение почвенного слоя, без которого невозможны нормальное развитие растений и полноценная эксплуатация пастбищ и сенокосов. В этой связи учет глубины, плотности и продолжительности снежного покрова становится неотъемлемой частью землеустроительных мероприятий и кадастрового анализа.

С точки зрения землеустройства, снежный покров определяет характер увлажнения земельных участков в переходный период «зима–весна» и задает стартовую точку агротехнических операций. Задержка таяния из-за значительной толщины снега влияет на сжатые сроки посева и уборки урожая на полях, требует переноса сроков агротехнических мероприятий и корректировки планов развития сельскохозяйственной инфраструктуры. На пастбищах и сенокосах продолжительное сохранение снега снижает доступность кормовых угодий и может потребовать организации дополнительных площадок для выпаса и заготовки кормов.

В кадастровой практике снежный покров рассматривается как фактор природного ограничения и классификационный признак земельных угодий. При проведении кадастровой оценки состояние снежного покрова влияет на виды разрешенного использования, категории и стоимость участков.

Территории с длительным или неоднородным залеганием снега часто получают особый статус – «сезонно ограниченные» или «частично непригодные», что отражается как в цифровой карте, так и в документации о ценности земель. Это позволяет учитывать возможные риски подтопления при весеннем паводке и сложности доступа в период таяния [1].

Кроме того, неоднородное распределение снежного покрова по рельефу создает устойчивые зоны с различными агроэкологическими характеристиками. Северные склоны, благодаря меньшей солнечной инсоляции, дольше сохраняют снеговую шапку, что влияет на накопление влаги и длительность переувлажнения почв; южные экспозиции, напротив, быстрее освобождаются от снега, что удлиняет вегетационный период, но увеличивает риск летней засухи. Учет таких зон крайне важен при зонировании территории и делении земель на функциональные участки, поскольку они требуют разных управленческих подходов и мероприятий по охране почв.

Снежный покров нельзя рассматривать лишь как метеорологическое явление: он представляет собой важнейший природно-климатический индикатор, который должен быть учтен в комплексной системе землеустройства и кадастра. Его параметры влияют на определение границ зон использования, категорирование земель и принятие решений о порядке и сроках их освоения. Только при учете всех особенностей снежного покрова возможно обеспечить сбалансированное, устойчивое и экономически обоснованное использование земельных ресурсов в горных регионах.

1.2 Влияние снежного покрова на землепользование в горных районах

Характеристики снежного покрова, такие как глубина и продолжительность залегания, непосредственно влияют на сроки начала весенних полевых работ и продолжительность вегетационного периода сельскохозяйственных культур. В районах с продолжительным сохранением снежного покрова посевная кампания откладывается, что сокращает сезон вегетации и снижает потенциальную урожайность. Это требует от агрономов и землеустроителей выбора более скороспелых сортов или корректировки агротехнологического режима, чтобы вписаться в ограниченные агроклиматические условия.

Для пастбищ и сенокосов наличие снега создаёт сезонные затруднения: избыточный снежный покров задерживает начало выпаса скота и осложняет доступ к кормовым угодьям, что требует организации временных стоянок или заготовки дополнительного корма. Планирование маршрутов выпаса и графика мобильных сенокосных бригад должно основываться на пространственном анализе распределения снега, чтобы минимизировать риск обморожения животных и утрату кормовой базы. Кроме того, неоднородность снежного покрова в зависимости от рельефа – более глубокие скопления на северных склонах и в защищённых от ветра участках – формирует микрзоны с различной кормовой ценностью, которые необходимо учитывать при зонировании пастбищ [1]. В лесном хозяйстве снежный покров влияет на доступ к древесным ресурсам и на технологию рубок. Зимние лесозаготовки в условиях устойчивого снежного покрова могут быть предпочтительнее, так как снег защищает почвенный покров от повреждений тяжёлой техникой, однако при оттепелях ухудшаются условия проходимости и возрастает риск разрушения временных дорог.

Для кадастрового деления земельных участков снежный покров служит основанием для введения «сезонных» или «условно пригодных» категорий земель, корректировки границ и видов разрешённого использования.

Участки, регулярно испытывающие проблемы с доступностью в период таяния, получают пониженную кадастровую стоимость или особые ограничения, что должно быть отражено в кадастровой карте и учтено при землеустроительном проектировании. Только при комплексном учёте влияния

снежного покрова возможно обеспечить устойчивое и экономически обоснованное землепользование в горных регионах.

1.3 Геофизические риски, связанные со снежным покровом, и их значение для кадастровых работ

В горных регионах Казахстана снежный покров выступает не только в роли гидрологического ресурса, но и источником серьёзных природных угроз. Среди наиболее значимых явлений – сходы лавин, весенние паводки талых вод, селевые потоки и снежные оползни, которые способны нарушить работу инфраструктуры, повредить сельхозугодья и поставить под угрозу безопасность населения.

Лавины

Снежные лавины представляют собой внезапные сходы снежных масс по горным склонам, возникающие при накоплении толстого слоя снега и определённых погодных условиях. Восточно-Казахстанская область отличается горным рельефом (Алтай, хребты Саур-Тарбагатай и др.), и лавины там не редкость. Согласно исследованиям, лавиноопасные территории в Казахстане охватывают около 134 тыс. км², и лавины сходят в горных системах Алтая, Саура, Тарбагатая, Джунгарского и Зайлийского Алатау, а также Тянь-Шаня.

Наибольший ущерб от лавин обычно фиксируется в наиболее освоенных горах (например, Алтай), но и хребет Тарбагатай подвержен лавинообразованию, особенно при многоснежных зимах. Лавины угрожают населению, хозяйству и инфраструктуре. Они способны перекрывать дороги, повреждать линии связи и энергоснабжения, уничтожать строения. Так, зимой 2025 года из-за обильного снегопада и ветра в Восточном Казахстане сошла лавина объёмом ~1300 м³, перекрыв участок автодороги Усть-Каменогорск – Катон-Карагай (длиной ~50–60 м и высотой 3 м). К счастью, жертв удалось избежать благодаря штормовому предупреждению и превентивному закрытию дороги. Тем не менее, этот случай демонстрирует типичное воздействие лавин – блокирование транспортных коммуникаций и необходимость аварийных работ. Для снижения лавинного риска применяются мониторинг и превентивные меры. Государственная система наблюдения (Казгидромет и службы ЧС) оценивает снежные накопления и погодные факторы, выпуская штормовые предупреждения при угрозе схода лавин. На опасных склонах проводятся профилактические спуски лавин и устанавливаются инженерные защиты (лавинные галереи, снежные щиты и т.д.) в рамках мер гражданской защиты. Научными организациями выполнено лавинное районирование: маломасштабные карты лавинной опасности разработаны для всех горных регионов Казахстана и используются органами власти при стратегическом планировании территорий. Такие карты классифицируют зоны по уровням риска (низкий, умеренный, высокий, очень высокий) и помогают определить, где возможна обычная хозяйственная деятельность, а где требуются

ограничения, мониторинг или инженерная защита. В целом лавины остаются существенным снежным риском для Восточного Казахстана, требующим учёта при освоении горных территорий.

Паводки и снеготаяние

Резкое таяние снега весной приводит к паводкам – кратковременным разливам рек и подтоплениям территорий. В Восточном Казахстане преобладают длинные снежные зимы, и при быстром потеплении либо дополнительных осадках весной происходит интенсивное снеготаяние. Регионы Северного и Восточного Казахстана находятся в группе наибольшего риска сезонных паводков. Так, прогноз на март–апрель 2025 г. предупреждал о тепле выше нормы и обильных осадках, способных спровоцировать паводки в Восточно-Казахстанской и ряде других областей. Историческим примером паводковой опасности является ситуация весны 2010 г. Тогда вслед за мощной метелью наступило резкое потепление, и стремительное таяние снега вызвало катастрофический паводок. Во многих районах Восточно-Казахстанской области были разрушены мосты (не менее четырёх), смыты десятки строений – свыше 160 жилых домов и 200 хозяйственных объектов оказались уничтожены, ещё около 1600 строений получили повреждения. Паводковые воды унесли жизни сельскохозяйственных животных (десятки тысяч голов скота), нанесён серьёзный урон аграрной инфраструктуре. В наиболее пострадавших районах, включая Тарбагатайский, местные власти провели массовую эвакуацию населения – свои дома вынужденно покинули свыше 7 тысяч жителей. Хотя жертв среди людей удалось избежать, этот случай продемонстрировал разрушительный потенциал паводков. Особенно уязвимы низменные поймы рек, где весенний поток воды выходит из берегов, затапливая сёла, дороги, пастбища и поля. Паводки регулярны в предгорных районах Тарбагатая и Алтая: талые воды скапливаются и стекают по балкам, рекам, иногда формируя сели (грязекаменные потоки) при сочетании с дождями. Повторяемость весенних подтоплений ставит задачу строительства береговых укреплений, дамб, расчистки русел рек и создания водохранилищ для аккумуляирования талой воды. Кроме того, важна заблаговременная подготовка – мониторинг высоты снежного покрова зимой и контроль наполнения водоемов. Совокупность мер (инженерных, организационных) определяется в планах гражданской защиты, что включает оповещение населения, защиту объектов и при необходимости эвакуацию.

Эрозия почв.

Снежный покров и его таяние влияют на процессы эрозии почв. Зимой снег предохраняет верхний слой почвы от ветровой эрозии, но ранней весной картина меняется. Быстрое таяние обильного снега приводит к образованию значительного поверхностного стока: вода стремительно стекает по склоновым участкам, размывая рыхлую почву и вызывая водную эрозию. В горных и предгорных землях Восточного Казахстана весенние талые потоки способны формировать овраги, смывать плодородный слой с сельскохозяйственных угодий и ухудшать структуру почв. Если склоны лишены растительного

покрова (например, из-за перевыпаса или вырубки), риск эрозии многократно возрастает. Кроме того, изменение климатических условий в регионе (потепление, изменение режима осадков) усиливает эрозионные процессы. Отмечается тенденция к более быстрому таянию снега зимой и весной, особенно при повышении температуры. В сочетании с суховеями это приводит к тому, что талые воды не успевают впитаться, а затем почва быстро пересыхает ветром.

В результате наблюдается одновременно водная и ветровая эрозия: сначала почву подмывает, а затем высушенный верхний слой выдувается. Такие процессы снижают продуктивность земель. В Тарбагатайском районе, где сочетаются горно-степные ландшафты, проблема эрозии особенно актуальна на склоновых пашнях и пастбищах. Борьба с ней требует комплекса мер – от агролесомелиорации (посадка лесополос, укрепление склонов травами) до регулирования стока (террасирование склонов, строительство лотков для отвода воды).

Разрушение инфраструктуры.

Снежный фактор нередко приводит к повреждению и разрушению объектов инфраструктуры. Во-первых, большие массы снега создают значительные нагрузки на кровли зданий и сооружений. В суровых зимних условиях Восточного Казахстана снеговая нагрузка может достигать критических величин, вызывая обрушение конструкций, особенно если они не рассчитаны на экстремальные значения. Примером является случай в столичном регионе: в феврале 2020 г. под тяжестью выпавшего снега частично обрушилась крыша крупного стадиона «Астана-Арена». Хотя этот инцидент произошёл в Нур-Султане, он иллюстрирует общую проблему – необходимость учитывать максимальные снеговые нагрузки при проектировании. В горах же опасность представляют снежные карнизы и лавины, способные уничтожить горные постройки, линии электропередачи, трубопроводы. Во-вторых, паводки и сопутствующие процессы разрушают транспортные и инженерные объекты. Размыв дорог – частое явление во время снеготаяния. Поток талой воды подрывает дорожное полотно, приводит к просадкам и разрывам коммуникаций. В паводок 2010 года, помимо зданий, были смыты по меньшей мере четыре моста в Восточно-Казахстанской области, что надолго нарушило транспортное сообщение в пострадавших районах. В Тарбагатайском районе весенние паводковые разливы могут повреждать низководные мосты через малые реки, вымывать грунт из-под фундаментных оснований ЛЭП (Линии электропередач) и опор. Также сели (грязевые потоки), возникающие при интенсивном снеготаянии в горах, способны уничтожать дороги и гидротехнические сооружения на своем пути. В-третьих, глубокий снежный покров затрудняет эксплуатацию инфраструктуры и ведение хозяйственной деятельности. Зимой многие отдалённые населённые пункты Тарбагатайского района могут оказаться отрезанными снегом – возникает необходимость в регулярной расчистке дорог, дополнительных затратах на поддержание связи и снабжения. Для энергетической инфраструктуры угрозу представляет

налипание мокрого снега и обледенение проводов: под тяжестью льда провода рвутся, опоры ЛЭП могут деформироваться или падать.

Все эти аспекты указывают на то, что снежные риски должны учитываться при планировании и строительстве инфраструктуры, путем закладки повышенных запасов прочности и разработки планов оперативного обслуживания в зимних условиях.

Ограничения на землепользование.

Геофизические риски, связанные со снегом, накладывают ограничения на использование территорий. В зонах, подверженных лавинам или паводкам, существуют ограничения на землепользование как инструмент снижения потенциального ущерба. Например, на лавиноопасных склонах нежелательно размещение жилой застройки и объектов длительного пребывания людей. Генпланы населённых пунктов и районное планирование должны выделять лавинные очаги и возможные зоны схода лавин (конусы выноса) как территории с особыми условиями использования. Зарубежный опыт (например, во Франции и Швейцарии) демонстрирует эффективность таких подходов: там существуют официальные карты зонирования, запрещающие или ограничивающие строительство в лавиноопасных и селеопасных участках. В Казахстане подобная практика начинает внедряться. Исследования отечественных географов показали, что при низком уровне лавинной опасности возможно обычное освоение территории, при умеренном – требуется система наблюдения и готовность к временному закрытию (например, горных перевалов или туристических маршрутов), при высоком – необходимы превентивные меры и ограничение деятельности, а зоны очень высокой лавинной опасности требуют инженерной защиты и фактически исключаются из хозяйственного оборота [1].

Таким образом, информация о лавинном риске прямо влияет на режим землепользования. Аналогично, подтопляемые поймы рек и нижние части склонов подвергаются особому режиму использования. Земельное законодательство предусматривает прибрежные защитные полосы вдоль рек, где строительство ограничено. Помимо этого, районы, регулярно затапливаемые весной, рационально использовать под сенокосы, пастбища или другие нужды, не связанные с капитальными строениями. Если же возникает необходимость возведения зданий, то следует применять специальные требования (повышение отметки пола, фундаменты на сваях, защитные дамбы). В Тарбагатайском районе, где значительная часть населения традиционно занимается сельским хозяйством, знание границ паводкового затопления крайне важно при выдаче земельных участков под фермы или жилищное строительство. Игнорирование этого может привести к тому, что новые постройки окажутся каждую весну под водой, вызывая социально-экономические проблемы. Кроме того, глубокий снег зимой может временно ограничивать землепользование в горных районах. Например, выпас скота на летних высокогорных пастбищах Тарбагатай возможен лишь сезонно – в зимний период эти земли фактически выведены из оборота из-за недоступности

под снегом. Это вынуждает планировать альтернативные стойбища для скота в низинах и хранить достаточные запасы кормов. Таким образом, снежный покров диктует не только пространственные, но и временные ограничения в использовании земельных ресурсов.

Учет снежных рисков при кадастровых работах и планировании.

Наличие природных рисков требует отражения соответствующих ограничений в кадастровых и планировочных документах. Государственный земельный кадастр в идеале должен содержать сведения об обременениях и особых режимах использования участков, связанных с опасными природными процессами. К таким сведениям относятся указания на то, что участок находится, например, в пределах зоны возможного схода лавин или паводкового затопления. При формировании информации о земле (кадастровых паспортах, планах землепользования) эти факторы следует фиксировать наряду с другими обременениями. Это позволяет предупреждать собственников и инвесторов о существующих рисках и обязательных условиях использования. Органы местного самоуправления и районные службы земельных отношений при отводе земельных участков должны учитывать материалы инженерно-геодезических изысканий и карты опасностей.

В Восточно-Казахстанской области уже доступны базовые карты лавинной опасности и других рисков, и они могут быть интегрированы в геоинформационные системы кадастра. Фактически, такая интеграция означает создание зон с особыми условиями использования территорий (ЗООИТ) по природным рискам. Включение этих зон в кадастр и градостроительную документацию обеспечивает юридическое закрепление ограничений. Например, если участок попадает в лавиноопасную зону, это может быть отражено как особое условие при регистрации права – строительство разрешается только при выполнении защитных мероприятий либо вовсе запрещено. Аналогично, подтопляемые земли могут снабжаться отметкой о режимном характере использования (без возведения жилых объектов). Современные технологии (дистанционное зондирование, GIS) позволяют уточнять границы таких зон достаточно оперативно, а кадастровые службы должны поддерживать эти данные в актуальном состоянии.

Корректировка землепользования

Учёт снежных рисков нередко приводит к необходимости корректировать ранее намеченное использование земель. При выявлении того, что выделенные под застройку территории попадают в опасную зону, может потребоваться изменение категорий земель или видов их разрешённого использования. Так, после крупных паводков или лавин местные власти могут пересматривать генеральные планы: например, переносить проектируемые жилые массивы на возвышенности вне досягаемости воды, или зарезервировать под лесонасаждения крутые склоны вместо распашки.

В Тарбагатайском районе, пережившем разрушительные паводки, вероятно скорректированы планы развития населённых пунктов в поймах – новые объекты строительства выносятся на более безопасные места. Землям

же, на которых часто сходят селёвые потоки или лавины, может присваиваться статус природоохранных или лесных зон, выполняющих буферную функцию. Сельскохозяйственное землепользование также адаптируется под влиянием снежного фактора. Изменение климата уже вынуждает сельхозпроизводителей Восточного Казахстана смещать сроки полевых работ: более раннее таяние снега и риск возвратных заморозков весной требуют корректировать календарь сева и сбора урожая. Фермеры отмечают, что сохранить влагу от быстро тающего снега в почве всё труднее, поэтому внедряются новые агротехнологии (нулевая обработка почвы, удержание снега на полях).

Следовательно, кадастровые сведения о землях сельхоз назначения должны дополняться рекомендациями по их устойчивому использованию с учётом изменений снежного режима. В некоторых случаях возможно даже перераспределение угодий: участки, которые из-за эрозии и паводков теряют продуктивность, выводятся из интенсивного оборота, а взамен осваиваются более пригодные территории. Все эти корректировки должны фиксироваться документально, через решения акиматов и изменение записей в кадастре.

1.4 Нормативно-правовые аспекты учета снежного покрова в кадастровом и землеустроительном регулировании

Правовое значение снежных рисков в контексте кадастрового регулирования.

Современные условия использования земельных ресурсов требуют учёта природно-климатических факторов, в том числе связанных со снежным покровом, который оказывает значительное влияние на безопасность территорий и устойчивость землепользования. Пренебрежение такими рисками может привести к социально-экономическим последствиям, в том числе материальному ущербу, угрозе жизни и здоровью населения, а также юридической ответственности за неадекватное планирование.

Одним из ключевых нормативных актов, регулирующих реагирование на природные угрозы, является Закон Республики Казахстан «О гражданской защите» (2014г.). В нём обозначены направления деятельности органов государственной власти по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного характера, в том числе снежных лавин, паводков и селёвых процессов. Среди таких мер предусмотрены превентивные мероприятия (укрепление склонов, регулирование накопления снега, организация мониторинга), а также создание системы оповещения и реагирования. Однако, несмотря на наличие общих норм, в действующем законодательстве отсутствует чёткая связь между этими мероприятиями и системами кадастрового и градостроительного регулирования.

Существующая практика территориального планирования нуждается в более тесной интеграции данных о снежных рисках. Для повышения

устойчивости пространственного развития на уровне областей и районов необходимо нормативно закрепить обязанность учитывать карты территорий, подверженных воздействию снежных процессов, при разработке схем планировки, зонирования и землепользования. В частности, важным шагом могло бы стать закрепление в правовых актах статуса территорий с высоким уровнем снежных рисков как зон с особыми условиями использования (аналогично охранным зонам инженерных объектов, водоохраным полосам или санитарным зонам).

Земельное право и климатические ограничения

На сегодняшний день Земельный кодекс Республики Казахстан формирует основную правовую базу для кадастрового учёта, устанавливая параметры фиксации границ, категорий, правового режима и назначения участков. Однако в нём отсутствуют прямые нормы, обязывающие учитывать природные ограничения, включая снежные риски, при определении допустимых видов использования земли. Таким образом, снежный фактор в настоящее время не является частью обязательного кадастрового анализа.

Хотя в стране действует система дистанционного мониторинга (например, «Жер Инспектор»), её основное назначение – контроль за соблюдением законодательства о землепользовании. Функционал этих платформ в части оценки климатических и геофизических факторов пока крайне ограничен.

Параллельно с этим, Экологический кодекс Республики Казахстан (в редакции 2021 года) создаёт нормативную основу для внедрения более комплексного подхода к управлению природными ресурсами. Кодекс вводит понятие космического мониторинга и обязывает использовать данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для оценки состояния окружающей среды. В частности, установлены нормы по гидрологическому контролю снежного покрова в речных бассейнах и фиксации загрязнений осадков, включая снег, в черте населённых пунктов. Однако эти положения, хотя и важны для оценки экологической обстановки, в настоящий момент слабо связаны с системами земельного учёта и пространственного планирования.

Также в Экологическом кодексе отражена идея создания Единой кадастровой системы природных ресурсов, охватывающей земли, воды, недра, леса и другие компоненты окружающей среды. В рамках данной системы предполагается использование геоинформационных и картографических данных, что теоретически открывает возможности для учёта снежного покрова как одного из пространственных факторов. Тем не менее, на практике такая интеграция пока не реализована из-за отсутствия межведомственных стандартов, технических регламентов и методических подходов.

Перспективы нормативной интеграции снежных характеристик.

Благодаря развитию технологий ДЗЗ и ГИС Казахстан располагает техническими возможностями для внедрения климатических данных в кадастровую систему. Национальные спутники (например, KazEOSat) способны предоставлять высокоточные данные о пространственной структуре снежного

покрова, его толщине, плотности, продолжительности и водном эквиваленте. Эти показатели особенно актуальны для оценки пастбищных угодий, планирования поливного земледелия, анализа риска паводков или лавин. Однако без чётко определённого юридического статуса такие данные не могут служить основанием для принятия правовых решений в землеустройстве и кадастре [2].

На данный момент отсутствует обязательное требование для органов земельных ресурсов учитывать снежный режим или климатические параметры при классификации земель и определении их кадастровой стоимости. Например, при определении бонитета сельскохозяйственных угодий во внимание берутся свойства почвы, но не снеготпасы и связанные с ними гидрологические особенности. Это снижает точность оценки продуктивности земель, особенно в зонах сезонного переувлажнения или эрозионной опасности.

Положительной тенденцией можно считать развитие нормативных механизмов обмена данными между ведомствами. Экологический кодекс предусматривает обязательность передачи геоданных и пространственной информации в централизованные государственные базы, что открывает возможность для межотраслевого использования сведений о снежном покрове. Однако для полноценной реализации этой возможности необходимо установить единые методики сбора и анализа снежной информации, а также юридически закрепить статус таких данных в кадастровом регулировании.

Рекомендации по правовой модернизации.

Для устранения существующих нормативных пробелов и адаптации кадастровой системы к климатическим вызовам, можно предложить следующие меры:

— Внесение изменений в Земельный кодекс и правила ведения кадастра, предусматривающих включение данных о снежном покрове (в том числе через ЗОУИТ – зоны с особыми условиями использования территорий).

— Разработка стандартов и методических рекомендаций по использованию ДЗЗ-данных для оценки снежных и климатических характеристик земель.

— Установление юридического статуса пространственных данных, получаемых в рамках мониторинга снежного покрова (толщина, плотность, продолжительность, таяние и др.).

— Создание платформы межведомственного взаимодействия с целью интеграции экологической, климатической и кадастровой информации в единую цифровую систему.

1.5 Потенциал применения ДЗЗ и ГИС-технологий в кадастровом мониторинге снежного покрова

Современное развитие дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных систем (ГИС) открыло новые перспективы для

пространственного анализа природных факторов, ранее слабо учитываемых в сфере кадастровой практики. Одним из таких факторов выступает снежный покров, обладающий высокой пространственно-временной изменчивостью и влияющий на водный баланс территорий, эрозионные процессы, сельскохозяйственную продуктивность и устойчивость землепользования в целом. Традиционные методы кадастрового учёта не способны оперативно фиксировать такие параметры, как глубина снега, сроки его залегания и пространственное распределение, в то время как технологии ДЗЗ и ГИС позволяют восполнить этот пробел с высокой степенью детализации и объективности.

Использование данных оптических и радиолокационных спутниковых сенсоров предоставляет возможность мониторинга снежного покрова даже в труднодоступных регионах. Применение спектральных индексов, таких как NDSI (Normalized Difference Snow Index), облегчает автоматизированную идентификацию снежного покрова на изображениях, в том числе при наличии облачности или лесной растительности. При этом ГИС-среды позволяют не только визуализировать пространственное распределение снега, но и интегрировать эти данные с другими кадастровыми слоями – земельными участками, угодьями, зонами риска. Такой междисциплинарный подход обеспечивает более глубокое понимание взаимосвязей между природными условиями и правовым режимом землепользования.

В условиях Казахстана, особенно в горных и предгорных регионах Восточного Казахстана, где снежный покров играет критическую роль в формировании стока и увлажнении почв, применение ДЗЗ и ГИС для кадастровых нужд приобретает особую актуальность [2]. Пространственная информация о продолжительности залегания снега может быть использована при уточнении категорий земель, особенно сельскохозяйственных угодий, чья продуктивность существенно зависит от весеннего увлажнения. Кроме того, в зоне потенциальных лавиноопасных и подтопляемых участков данные о сезонных снежных накоплениях могут быть интегрированы в процедуры зонирования и планирования использования территории, тем самым предотвращая необоснованное размещение объектов инфраструктуры.

Полученные результаты могут быть использованы для обоснования:

- адаптации категорий использования земель с учётом снежных факторов и степени освоенности малозаселённых районов;
- разработки рекомендаций по сезонному использованию участков;
- определения зон с особыми условиями использования (ЗОУИТ) и ограничениями на строительство или хозяйственную деятельность;
- актуализации данных государственного земельного кадастра с учётом природно-климатических факторов.

Кадастровая значимость данной информации заключается в следующем:

- уточнение границ землепользования с учётом снежных барьеров и водоразделов;
- выявление неэффективно используемых земель, сезонно недоступных

по природным причинам;

- определение ограничений для строительства, особенно в зонах сезонного подтопления и переувлажнения;

- установление особых режимов пользования земельными участками (в том числе формирование зон с особыми условиями использования — ЗОУИТ).

Технологический потенциал ГИС-технологий в данной сфере не ограничивается лишь визуализацией и хранением данных. Модели пространственного анализа позволяют выполнять автоматическую классификацию территорий по степени снежной нагрузки, моделировать сценарии таяния снега и прогнозировать паводковые явления, что может быть использовано как вспомогательный инструмент при кадастровой оценке земель и разработке землеустроительной документации. Более того, регулярное обновление спутниковых данных обеспечивает возможность построения временных рядов, позволяющих анализировать многолетние тенденции изменения снежного покрова, что особенно актуально в контексте адаптации к климатическим изменениям. Однако практическая реализация такого подхода требует системной интеграции ДЗЗ и ГИС в нормативную базу кадастрового учёта. На данный момент в Казахстане отсутствуют унифицированные методики или инструкции по включению пространственных данных о снежном покрове в официальную кадастровую документацию. Несмотря на наличие технической возможности, правовой статус таких данных остаётся не определённым, что ограничивает их использование в качестве доказательной базы при межевании, классификации или оценке земель [3].

Тем не менее, усилия по цифровизации кадастровой системы, включая создание единой геоинформационной платформы и запуск спутниковых систем отечественного производства (KazEOSat и др.), формируют предпосылки для более широкого применения ДЗЗ и ГИС в учёте природных ограничений. При наличии методических рекомендаций и нормативных оснований, информация о снежном покрове может стать важной составной частью кадастровой практики, особенно в регионах, подверженных сезонным изменениям водного режима.

Следовательно, потенциал применения дистанционного зондирования и геоинформационных систем в кадастровом мониторинге снежного покрова в Казахстане заключается не только в технической возможности получения данных, но и в их способности влиять на стратегические решения в области рационального землепользования, планирования и охраны земельных ресурсов.

2. Природно-кадастровая характеристика Восточно-Казахстанской области и Тарбагатайского района

2.1 Физико-географические особенности и климатическое районирование исследуемой территории

Восточно-Казахстанская область занимает восточную часть Республики Казахстан и характеризуется выраженным разнообразием природных условий, обусловленным её положением на стыке крупных физико-географических зон – лесостепной, степной и полупустынной. Особое место в структуре области занимает Тарбагатайский район в соответствии с рисунком 1, отличающийся уникальным сочетанием рельефа, климатических условий, почвенно-растительного покрова и водных ресурсов.



Рисунок 1 – Территория интереса

Тарбагатайский район, расположенный в восточной части Республики Казахстан, представляет собой территорию с выраженным природным разнообразием, что обусловлено его положением на пересечении степной, полупустынной и горно-лесостепной зон. Эта территория отличается сложным рельефом, разнообразным климатом, а также специфическими особенностями ландшафта, что предопределяет особенности землепользования и экологической обстановки. Здесь встречаются и равнинные участки, и горные хребты. Главную роль в формировании рельефа играет хребет Тарбагатай, протянувшийся с запада на восток. Он влияет на климат района, создавая различия между северными и южными склонами по количеству осадков и продолжительности снежного покрова.

Территория района охватывает значительную часть Тарбагатайского хребта, протянувшегося с запада на восток на сотни километров. Высоты варьируются от 600 до более чем 3000 метров над уровнем моря. Южные

склоны, как правило, более крутые, тогда как северные имеют пологий характер, переходя в предгорные равнины и волнистые возвышенности. На южной окраине расположена Зайсанская котловина, играющая важную роль в аккумуляции влаги и формировании локальных климатических условий.

Подобное строение рельефа обуславливает наличие выраженной вертикальной поясности, что особенно важно при анализе природных и климатических условий района.

Геологические особенности

Геологическая основа района представлена преимущественно палеозойскими метаморфическими и магматическими породами, что указывает на древний тектонический фундамент. Такая геологическая мозаика оказывает влияние на развитие почвенного покрова, гидрографической сети и формирование минерально-сырьевого потенциала.

Климатические характеристики и районирование

Климат Тарбагатайского района резко континентальный. Характерны резкие сезонные перепады температуры: зимой средние значения варьируются от -15°C до -25°C , а летом достигают $+18 \dots +24^{\circ}\text{C}$. Количество осадков увеличивается с юга на север и с равнин к горам – от 200 мм до 600 мм в год, максимум осадков приходится на весенне-летний период. Снеговой покров в горных районах может сохраняться до шести месяцев в году.

Согласно схеме климатического районирования Казахстана, район охватывает несколько подзон:

- южная часть относится к полупустынной низменной зоне;
- предгорья и склоны хребтов – к степной и горно-степной зонам;
- наиболее возвышенные участки – к субальпийской климатической зоне.

Гидрография

Водные ресурсы региона представлены сетью рек и временных водотоков, основными из которых являются Урджар, Карасу и Катынсу. Водоснабжение осуществляется преимущественно за счёт снеготаяния и атмосферных осадков. В летние месяцы часть рек становится пересыхающей, что указывает на зависимость водного режима от сезонного распределения осадков.

Почвенно-растительные комплексы

Почвенный покров изменяется по вертикали: в нижних частях преобладают светло-каштановые и каштановые почвы, выше располагаются чернозёмы и горно-луговые разновидности. Растительность представлена степными, полупустынными и луговыми сообществами, а в горной части встречаются кустарниково-луговые фитоценозы. Видовое разнообразие увеличивается с набором высоты и увлажнения.

Экологическая ситуация и природные риски

Среди основных экологических угроз можно выделить ветровую и водную эрозию, снижение плодородия почв, опустынивание низменностей, а также периодическое возникновение паводков. В горных частях существует

риск снежных лавин и селевых потоков. Эти явления требуют регулярного мониторинга и разработки адаптационных мер в рамках устойчивого природопользования.

Таким образом, разнообразие рельефа, климатические условия и высотная поясность формируют сложную природную картину района. Это требует внимательного подхода к учёту снежного покрова при планировании и оценке использования земельных ресурсов.

2.2 Земельно-ресурсный потенциал и структура землепользования

Земельно-ресурсный потенциал Тарбагатайского района определяется сочетанием природных, экономических и географических факторов. Основная часть земель здесь используется для сельского хозяйства, особенно под пастбища и сенокосы. Благодаря значительным площадям и разнообразному рельефу, район обладает высоким потенциалом для ведения животноводства, особенно в условиях кочевого и полукочевого скотоводства, традиционно развитого в этом регионе.

Пахотные земли занимают небольшую часть территории, в основном сосредоточенную в долинах рек и на участках с пологим рельефом. Из-за ограниченности орошаемых площадей и засушливого климата сельское хозяйство здесь в основном экстенсивное, с упором на природные кормовые угодья. Плодородие почв разнится в зависимости от высоты и влажности: в низинах и на склонах с хорошим увлажнением почвы более продуктивны, тогда как на каменистых и засушливых участках их использование ограничено.

Горные и предгорные зоны района включают участки, занятые кустарниковой и лугово-степной растительностью, которые активно используются как сезонные пастбища. Лесные массивы занимают незначительную часть территории, в основном в северо-восточной части хребта Тарбагатай. Земли под населенными пунктами, транспортной и инженерной инфраструктурой представлены фрагментировано и не превышают 3–5% от общей площади района [4].

В структуре землепользования доминируют земли сельскохозяйственного назначения, среди которых преобладают пастбища. Однако в последние годы наблюдаются тенденции изменения землепользования – расширение площадей под индивидуальное жилищное строительство, повышение интереса к развитию туризма и рекреации, особенно в экологически привлекательных горных районах. Это требует более тщательного кадастрового учёта и оценки пригодности земель для различных целей.

2.3 Роль рельефа и высотной поясности в формировании снежного покрова

Рельеф исследуемой территории оказывает определяющее влияние на пространственное распределение снежного покрова и его физико-динамические характеристики. В пределах Тарбагатайского района наблюдается выраженное чередование равнинных, холмистых и горных участков, что обуславливает не только разнообразие типов снежного залегания, но и различия в сроках его появления, устойчивости и таяния. Геоморфологические особенности, такие как крутизна склонов, экспозиция и абсолютная высота, напрямую влияют на температурный режим, накопление и перераспределение снега, а также на объёмы снежной массы к началу весеннего стока.

Высотная поясность в данном контексте выступает не просто фактором климатической стратификации, а своеобразной природной матрицей, по которой "читается" вертикальная дифференциация снежного покрова. Нижние части рельефа – равнины и днища долин – как правило, накапливают ограниченное количество снега, который характеризуется меньшей плотностью и сравнительно коротким сроком залегания. Эти участки быстрее прогреваются весной, и снежный покров на них сходит раньше. В то же время среднегорные и высокогорные зоны обладают иным снежным режимом: здесь снег выпадает раньше, ложится плотнее и сохраняется дольше за счёт пониженных температур и меньшей инсоляции, особенно на северных склонах.

Особое значение имеет экспозиция склонов: северные склоны, менее подверженные солнечному прогреву, дольше сохраняют снежное покрытие, тогда как южные – быстрее теряют снежный пласт, что формирует пространственную асимметрию в водных запасах и может способствовать локализованным паводковым рискам. Участки с вогнутыми формами рельефа (ложбины, балки) служат своеобразными аккумуляторами снега, тогда как выпуклые формы (гребни, водоразделы) склонны к ветровому сдуванию и перемещению снега в нижележащие участки. Эти процессы приводят к возникновению очагов снежной эрозии и формированию зон неравномерного увлажнения в тёплый период.

Высотный диапазон территории варьируется от относительно низменных участков – около 400–500 м над уровнем моря – до возвышенностей, превышающих 2900 м. Эти перепады формируют выраженную вертикальную поясность, которая влечёт за собой существенные различия в температурном режиме, распределении осадков и продолжительности снежного покрова. Наиболее высокие участки рельефа характеризуются относительно устойчивыми зимними условиями, в то время как нижние зоны подвержены более резким температурным колебаниям и менее продолжительному снежному периоду [4].

Рельеф района в целом можно охарактеризовать как асимметричный: северные склоны склонны к более резкому обрыву и большей задержке снега, тогда как южные имеют более пологий профиль и интенсивнее прогреваются. Эти различия особенно важны при оценке водных ресурсов, формируемых за счёт снеготаяния. Помимо орографических контрастов, значительную роль

играют формы мезорельефа – ложбины, балки, террасированные склоны – в которых происходит локальное перераспределение снежных масс под действием ветровых и гравитационных процессов.

Межгорные и прилегающие равнинные участки, несмотря на относительную однородность, также не лишены рельефных аномалий. Здесь наблюдаются многочисленные локальные понижения, в которых происходит сезонное накопление влаги. Такие зоны представляют интерес в контексте планирования пастбищного использования и пространственной оценки эрозионной опасности.

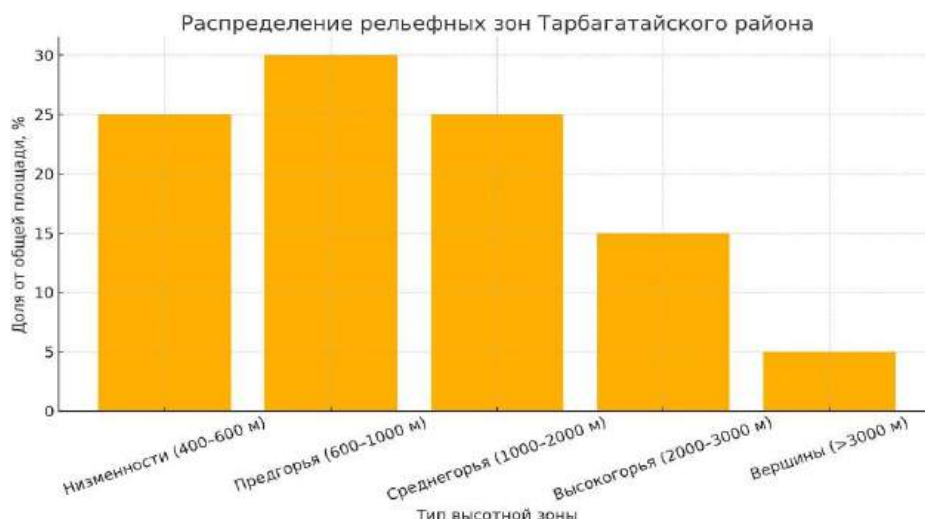


Рисунок 2 – График распределения рельефа в Тарбагатайском районе

Таким образом, рельеф Тарбагатайского района представляет собой сложную систему в соответствии с рисунком 2, где абсолютные высоты, экспозиционные различия и форма склонов формируют уникальные условия для распределения снежного покрова и, как следствие, влияют на аграрную пригодность, водный режим и кадастровую специфику землепользования. Это требует учёта рельефных характеристик на всех стадиях землеустроительных и кадастровых работ, особенно в условиях сезонной изменчивости природных факторов.

2.4 Классификация и учет территорий, подверженных снежным рискам, в кадастровом контексте

Территории, подверженные рискам, связанным с сезонным снежным покровом, представляют собой важный объект кадастрового анализа, особенно в регионах с резко выраженной вертикальной зональностью и сложным рельефом. В условиях Тарбагатайского района снежные аномалии – лавиноопасность чрезмерное снегозадержание, высокая плотность и

длительность залегания снежного покрова – могут оказывать существенное влияние на хозяйственную деятельность, устойчивость землепользования и безопасность территорий.

С точки зрения кадастровой практики, участки, подверженные воздействию снежных процессов, подлежат выявлению и классификации с учётом их природной специфики и степени потенциальной угрозы. Принципиально важно различать следующие типы зон с повышенным риском снежных воздействий:

- Лавиноопасные склоны, формирующиеся на участках с крутизной более 20° и экспозицией, благоприятной для накопления рыхлого снега. Такие зоны особенно опасны при резких перепадах температур и интенсивных осадках.

- Площади с повышенным снегозадержанием, чаще всего встречающиеся в ложбинах, межгорных впадинах и на северных склонах. Эти территории могут быть источниками весенних паводков и локальных подтоплений.

- Территории с длительным снежным покровом, где снег сохраняется более 160–180 дней в году. В таких зонах возможны отложения влаги в грунте, сезонное заболачивание и позднее начало сельхоз работ [5].

С точки зрения кадастровой практики, выявление и пространственная фиксация таких участков позволяет повысить точность землеустроительной документации, обоснованность классификации земель и эффективности использования сельскохозяйственных и иных категорий угодий. Для этого необходимо внедрение системной методологии классификации территорий по степени снежного риска, основанной на использовании данных дистанционного зондирования, цифровых моделей рельефа (ЦМР) и результатов геоморфологического анализа.

Ключевыми факторами, определяющими категорию снежного риска, выступают:

- среднегодовая глубина и продолжительность залегания снежного покрова;

- крутизна и экспозиция склонов;

- частота и интенсивность снежных осадков;

- потенциальная лавиноопасность;

- вероятность образования застойных вод весной.

С учётом этих параметров можно выделить следующие типы снежно-рискованных зон:

- лавиноопасные территории — крутые северо-восточные и северные склоны с накоплением снега более 80–100 см;

- зоны длительного снегонакопления — пониженные и замкнутые участки, где наблюдается длительное сохранение снежного покрова;

- территории быстрого таяния — открытые южные склоны, где снежный покров исчезает в ранние сроки, провоцируя поверхностный сток;

— зоны потенциального подтопления — участки с неустойчивыми почвами, подверженные сезонному переувлажнению

Для классификации участков, подверженных снежным рискам, применяются данные дистанционного зондирования, включая спутниковый анализ снежного покрова с использованием индекса NDSI, а также цифровые модели рельефа, позволяющие оценивать уклоны и экспозицию склонов. Интеграция этих данных в ГИС-среду обеспечивает картографирование территорий с повышенной вероятностью снежных воздействий с высокой пространственной точностью [6].

В кадастровом контексте учет снежных ограничений необходим при следующих процедурах:

- формировании землепользовательских границ и выборе участков для строительства;

- оценке эрозионной опасности сельскохозяйственных земель;

- планировании мелиоративных мероприятий и водоотведения;

- определении категории и вида разрешённого использования земель

Несмотря на высокую значимость, формальный статус снежных факторов в кадастровой системе Казахстана остаётся недостаточно определённым. В большинстве случаев они учитываются как часть общего экологического анализа, но не имеют самостоятельного правового положения в кадастровой документации. Это снижает точность оценки рисков и ограничивает возможности превентивного управления территориями.

Для преодоления этих недостатков необходимо:

- разработка типовой методики оценки снежных рисков с использованием ГИС и ДЗЗ;

- включение снежных характеристик в цифровые кадастровые модели (в виде атрибутивных признаков участков);

- нормативное закрепление критериев снежного риска при определении разрешённого использования земель;

- формирование специализированных тематических слоёв в государственной геопортальной системе с публичным доступом к картам снежных воздействий.

Внедрение в кадастровую практику методов анализа территорий подверженных снежным рискам позволяет повысить обоснованность землеустроительных решений, снизить потенциальные убытки от природных процессов и обеспечить устойчивое управление землями в условиях климатической изменчивости. Систематизация таких данных может лечь в основу нового подхода к территориальному зонированию, основанному на природно - климатических критериях, включая снежный фактор как важный элемент пространственного анализа.

3. Методика пространственного анализа снежного покрова с использованием ДЗЗ и ГИС для кадастровых целей

3.1 Концептуальная схема исследования

Пространственный анализ снежного покрова в контексте кадастровых задач требует междисциплинарного подхода, сочетающего методы дистанционного зондирования Земли, геоинформационного моделирования и элементов землеустроительной экспертизы. Основная цель разработанной концептуальной схемы – выявление пространственно-временных закономерностей снежного покрова и интеграция этих данных в кадастровую систему для поддержки принятия решений в области устойчивого землепользования.

Исследование опирается на следующую логическую последовательность действий:

— Выделение ключевых природных факторов, влияющих на характер снежного покрова – рельеф, экспозиция склонов, высотная поясность, тип землепользования и климатические параметры. Эти характеристики служат основой для отбора переменных пространственного анализа.

— Получение и предварительная обработка спутниковых данных, включая оптические снимки (Landsat 8–9, Sentinel-2) и радиолокационные данные при необходимости. Снимки проходят атмосферную коррекцию, корректировку пространственного разрешения и маскирование облачности.

— Расчёт индекса NDSI (Normalized Difference Snow Index) – одного из наиболее информативных показателей для определения снежного покрова. Его значения позволяют выделить снежные участки, включая те, где снег частично закрыт растительностью или тенями рельефа.

— Создание цифровой модели рельефа (ЦМР) и её производных (уклон, экспозиция, высотные зоны) для пространственного уточнения мест залегания снега, с учётом особенностей орографии.

— Интеграция данных в ГИС-среду с привязкой к кадастровым границам, категориям земель и формам землепользования. На этом этапе осуществляется пространственное пересечение снежных слоёв с кадастровыми объектами.

— Анализ пространственно-временной динамики снежного покрова по сериям снимков за несколько лет (или сезонов) для выявления устойчивых закономерностей или экстремальных отклонений (например, снежных аномалий).

— Геостатистическая интерпретация полученных данных: классификация земель по степени снежной нагрузки, выявление зон риска (паводки, эрозия, ограниченное землепользование) и формулировка рекомендаций по учёту снежного фактора в кадастровом и территориальном планировании.

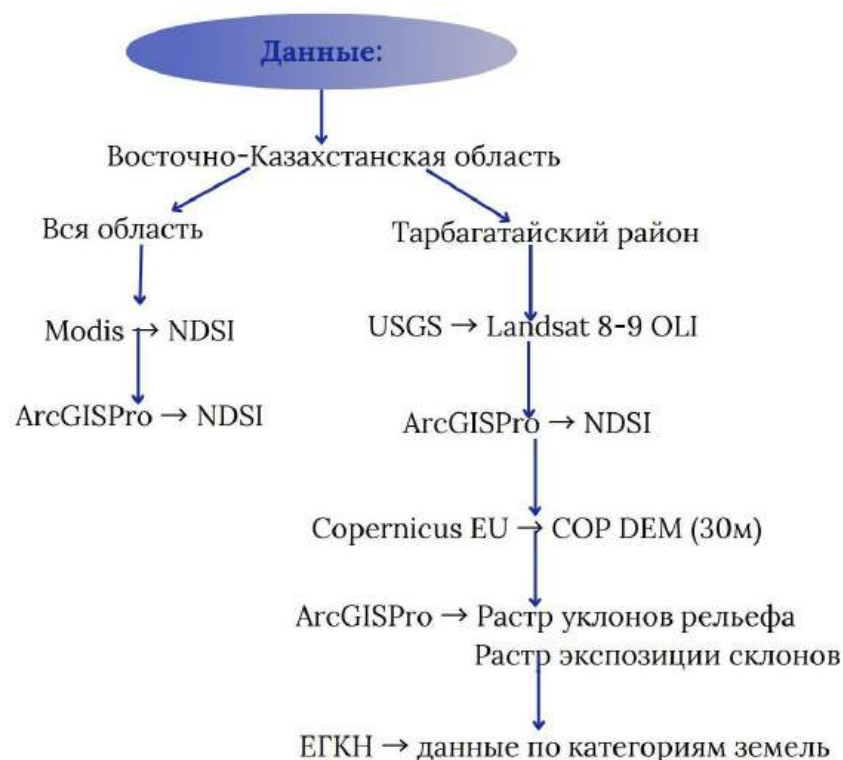


Рисунок 3 – Схема работа с данными

Схема исследования ориентирована не только на получение визуальных картографических результатов, но и на создание прикладных кадастровых слоёв, которые могут быть использованы при межевании, зонировании и переоценке функционального статуса земель. Такой подход позволяет перенести учёт временных природных характеристик (в частности, сезонного снежного покрова) в плоскость постоянного кадастрового наблюдения, усиливая научную и практическую основу пространственного планирования.

3.2 Подбор и подготовка спутниковых данных (Landsat 8–9 OLI, MODIS)

Качественное выполнение пространственного анализа снежного покрова требует тщательного выбора источников дистанционного зондирования Земли, обладающих подходящей спектральной, пространственной и временной характеристикой. В данной работе использованы два основных класса спутниковых данных: многофункциональные оптические снимки среднего разрешения Landsat 8 и 9 с сенсором OLI (Operational Land Imager), а также данные с низким пространственным, но высокой временной детализацией от MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectro radiometer).

Источники снимков спутников Landsat 8-9 OLI – USGS Earth Explorer в соответствии с рисунком 4, MODIS – NASA Earth data.

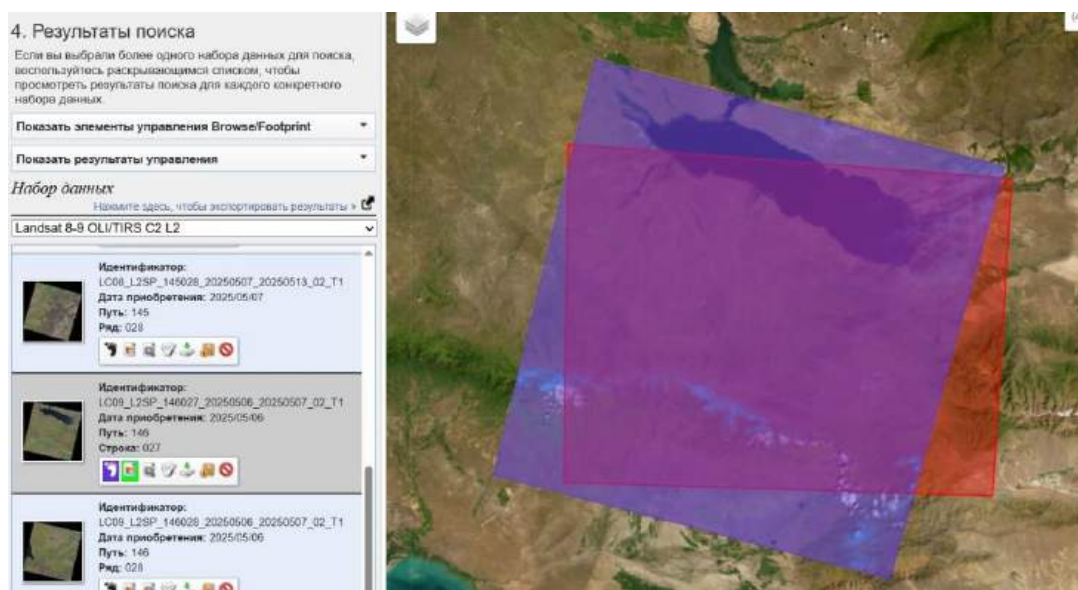


Рисунок 4 – Источник снимков Landsat 8-9 OLI

Для выполнения расчета индекса NDSI были выбраны снимки спутников Landsat 8-9 OLI (Level 2 Collection 2) по ряду преимуществ в:

1. Пространственное разрешение:

30 м для большинства спектральных каналов (кроме пандуса, в котором разрешение составляет 100 м). Это достаточно высокое разрешение для анализа земной поверхности, включая снежный покров, что позволяет выявлять изменения на локальных территориях, например, в горных районах или в сельскохозяйственных зонах. Спектральные каналы: Landsat 8 и 9 с датчиком OLI имеют 11 спектральных каналов, включая видимый, инфракрасный и тепловой диапазоны. Это предоставляет полное покрытие диапазона длин волн для различных типов анализа, включая: Синий (0.43-0.45 мкм), Зеленый (0.53-0.59 мкм) и Красный (0.64-0.67 мкм): используются для анализа растительности и водных ресурсов. Ближний инфракрасный (NIR, 0.85-0.88 мкм) и Средний инфракрасный (SWIR 1: 1.57-1.65 мкм, SWIR 2: 2.11-2.29 мкм): помогают изучать различные виды почвы, растительность и водные ресурсы.

Тепловые каналы (Thermal Infrared 1 и 2, 10.60-11.19 мкм и 11.50-12.51 мкм): позволяют оценивать температуру поверхности, что также важно для анализа состояния снежного покрова и его изменения.

2. Уровень данных – Level 2 Collection 2:

Эти данные проходят предварительную обработку для улучшения качества, включая атмосферную коррекцию, что важно для уменьшения искажений, вызванных атмосферой, такими как облачность или влажность.

Обработка Level 2 Collection 2 предоставляет калиброванные спектральные данные и отражательную способность поверхности, что делает их более точными и пригодными для анализа, особенно в сложных климатических условиях, как в случае снежного покрова.

3. Частота съемки:

Спутники Landsat 8 и 9 проходят через одно и то же место Земли каждые

16 дней, что позволяет регулярно получать обновленные данные для мониторинга снежного покрова в течение сезона.

4. Качество изображений:

Данные Landsat Level 2 Collection 2 обладают высоким качеством, в том числе уменьшением искажений, таких как облачность и атмосфера, с применением технологий коррекции, что позволяет более точно анализировать снежный покров соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Характеристика спутниковых данных Landsat 8-9 OLI.

1	Характеристика	Landsat 8 OLI	Landsat 9 OLI
2	Дата запуска	11 февраля 2013 года	27 сентября 2021 года
3	Спектральные каналы	11 спектральных каналов (включая видимый, инфракрасный и тепловой диапазоны)	11 спектральных каналов (похожи на Landsat 8 OLI)
4	Пространственное разрешение	30 м (кроме пандусного канала с разрешением 100 м)	30 м (кроме пандусного канала с разрешением 100 м)
5	Уровень данных	Level 2 Collection 2 (калиброванные и атмосферно откорректированные данные)	Level 2 Collection 2 (калиброванные и атмосферно откорректированные данные)
6	Частота съемки	Каждые 16 дней	Каждые 16 дней
7	Применение	Мониторинг земельных покровов, сельского хозяйства, лесов, водных ресурсов, ледников, а также для оценки состояния экосистем и изменений климата	Подобное использование данных Landsat 8 для мониторинга природных ресурсов, климатических изменений, экосистем
8	Основные миссии	Земельный мониторинг, оценка воздействия изменений климата, мониторинг природных ресурсов и экосистем	Миссия по мониторингу землепользования, оценки воздействия на природу, экологические исследования
9	Типы данных	Открытые данные с возможностью бесплатного доступа	Открытые данные с возможностью бесплатного доступа
10	Геометрическая точность	12 м в плане, 30 м по высоте (RMSE)	12 м в плане, 30 м по высоте (RMSE)
11	Поддержка NDSI (Индекс снежного покрова)	Каналы в зеленом и инфракрасном диапазонах для расчета NDSI (Normalized Difference Snow Index)	Каналы в зеленом и инфракрасном диапазонах для расчета NDSI (Normalized Difference Snow Index)
12	Основные преимущества	Высокое качество данных с атмосферной коррекцией, регулярное обновление данных каждые 16 дней	Улучшенная калибровка и аналогичное качество данных с Landsat 8 для мониторинга снежного покрова и других природных явлений
13	Используемые датчики	OLI (Operational Land Imager), TIRS (Thermal Infrared Sensor)	OLI-2 (Operational Land Imager-2), TIRS-2 (Thermal Infrared Sensor-2)

MODIS, в свою очередь, обеспечивают ежедневную съёмку с разрешением 250–500 м, что делает их особенно ценными для анализа временной динамики снежного покрова. Несмотря на более грубую пространственную детализацию, они позволяют отслеживать процессы накопления и схода снега в течение сезона и формировать многолетние тренды. В работе использовались композитные данные с платформ Terra и Aqua, предоставляемые NASA, с учётом облачности и атмосферных искажений.

Предобработка данных включала следующие этапы:

— загрузка изображений за выбранный период (ноябрь–апрель) с платформ USGS EarthExplorer и LAADS DAAC [7];

— коррекция атмосферных искажений с использованием инструментов обработки данных уровня L2;

— выравнивание пространственной привязки и ресемплирование при необходимости;

— маскирование облачных областей и теней с применением встроенных масок качества (QA).

Для каждого спутникового источника были отобраны репрезентативные

снимки по сезонам, соответствующим пику снежного накопления (зимний максимум) и периоду таяния (весенний спад). Правильно подобранные спутниковые данные в дальнейшем позволили выполнить качественный геопространственный анализ. Совмещение данных Landsat и MODIS обеспечило как высокую пространственную точность, так и временное разрешение, необходимое для анализа не только состояния снежного покрова на конкретные даты, но и общей сезонной динамики.

3.3. Расчёт NDSI для выявления снежного покрова по снимкам Landsat 8–9 OLI (Collection 2, Level 2) и MODIS

Одним из центральных программных средств, использованных в рамках настоящего исследования, является современная геоинформационная система ArcGIS Pro, разработанная компанией Esri. Данная платформа представляет собой мощный инструмент для интеграции, анализа, визуализации и интерпретации пространственных данных различной природы, включая данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

В этом программном обеспечении проводился расчет индекса NDSI, а также были выполнены многие другие задачи. Индекс использовался для выявления снежного покрова на территории Восточно-Казахстанской области. Его расчёт осуществлялся на основе спутниковых изображений Landsat 8/9 OLI и MODIS.

Индекс NDSI (нормализованный разностный индекс снежного покрова)

– это широко используемый спектральный индикатор, предназначенный для идентификации снежного покрова на спутниковых изображениях. Он основан на различиях в отражательной способности снега в зеленом (Visible Green) и среднем инфракрасном (SWIR) диапазонах [8].

Формула расчёта NDSI:

$$\text{NDSI} = (\text{GREEN} - \text{SWIR}) / (\text{GREEN} + \text{SWIR}) \quad (1)$$

Где, GREEN – отражательная способность в зеленом канале;

SWIR – отражательная способность в среднем инфракрасном диапазоне

Для Landsat 8–9 OLI (Collection 2, Level 2):

Зелёный канал (GREEN): Band 3 (0.53–0.59 мкм)

SWIR канал: Band 6 (1.57–1.65 мкм) $\text{NDSI} = (B3 - B6) / (B3 + B6)$ [8].

Этапы расчета индекса NDSI в программе ArcGISPro

1) Загрузка нужных каналов в программу, для снимка Landsat 8 OLI L2 C2 выбираем 3 канал и 6 канал в соответствии с рисунками 5 и 6.

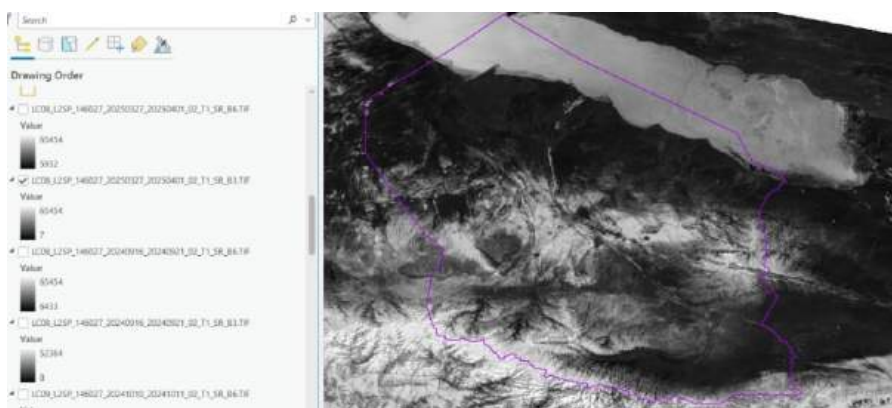


Рисунок 5 – Космоснимок Landsat 8 OLI L2C2 Канал 3

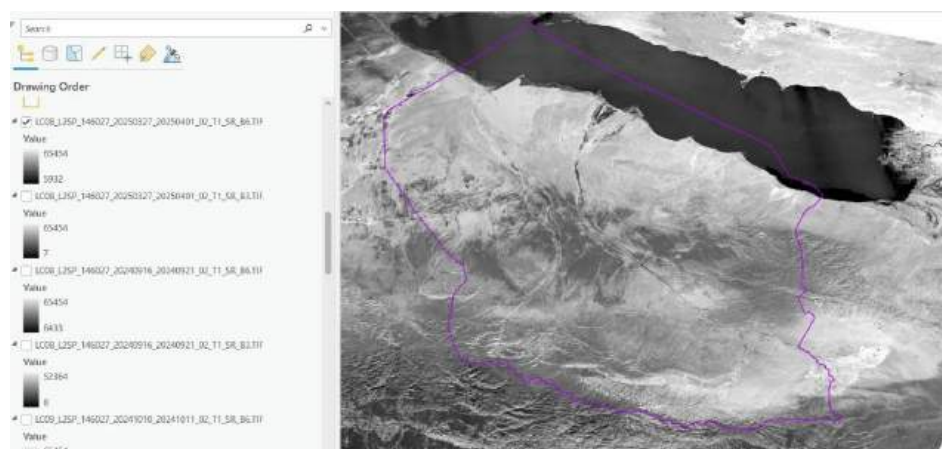


Рисунок 6 – Космоснимок Landsat 8 OLI L2C2 Канал 6

2) Выполнение расчета индекса через модуль Raster Calculator

Raster Calculator – это модуль предоставляющий возможность выполнять арифметические и логические операции над растровыми слоями, создавая новые производные карты на основе заданных математических выражений. Это особенно актуально при необходимости расчёта различных геоинформационных индексов, таких как NDVI, NDSI, BSI и других. Raster Calculator реализуется через интерфейс Spatial Analyst Tools, который обеспечивает доступ к библиотеке операций над растрами в соответствии с рисунком 7. Модуль позволяет формировать выражения, комбинируя значения отдельных пикселей различных слоёв, с целью получения новых пространственных характеристик.

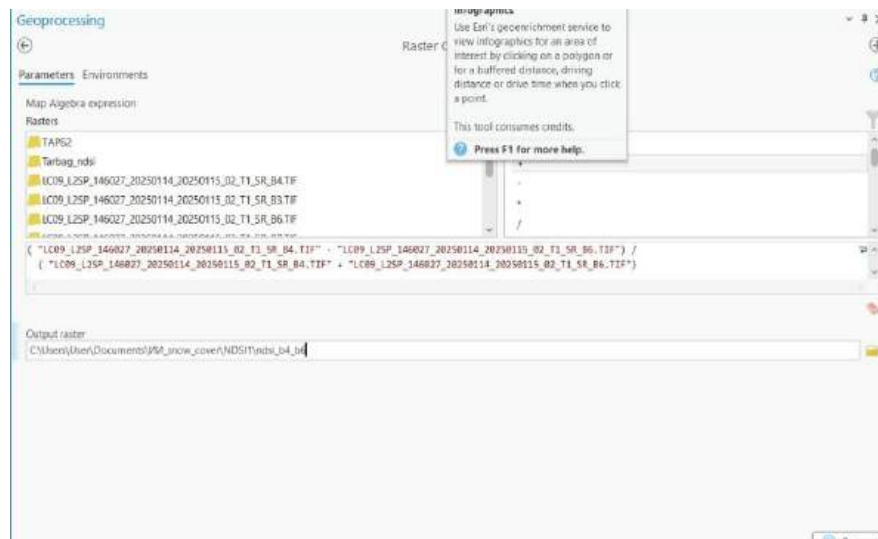


Рисунок 7 – Работа в ArcGISPro в модуле Raster Calculator

3) Полученный результат расчета индекса NDSI в соответствии с рисунком 8.

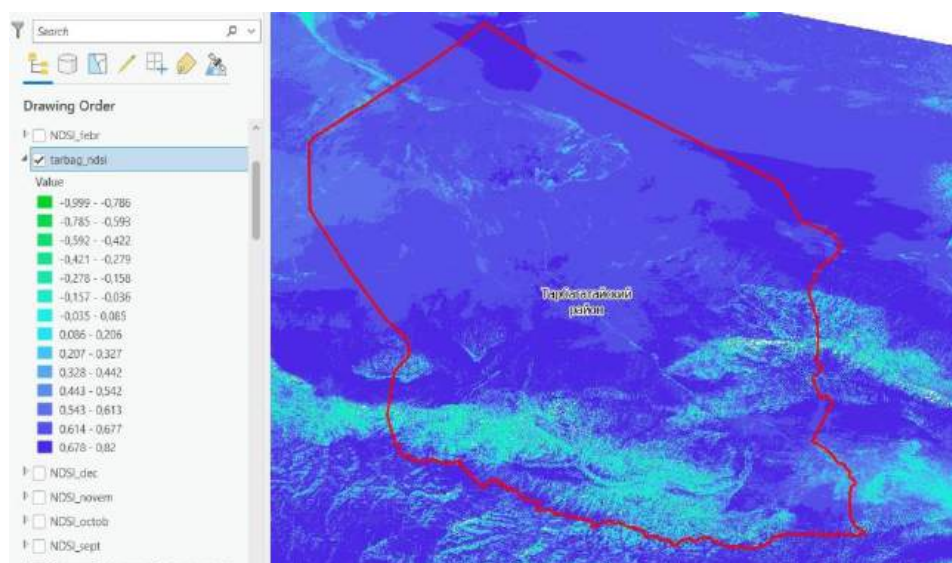


Рисунок 8 – результат расчета индекса NDSI

4) Интерпретация результатов NDSI в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Интерпретация результата расчета индекса NDSI

Диапазон значений NDSI	Интерпретация	Примечание
> 0.6	Чистый снежный покров	Отражение характерно для свежего, плотного снега без примесей
0.4 – 0.6	Снег с примесями, тающий снег	Возможна примесь пыли, загрязнений или начало таяния
0.2 – 0.4	Влажная поверхность, возможен мокрый снег	Граница снежного покрова, смешанные пиксели
0 – 0.2	Без снега, возможна растительность	Переходная зона, чаще всего — оголённая почва или растительность
< 0	Вода, тень, тёмные поверхности	Низкое отражение в зелёном диапазоне; нехарактерно для снега

Для бинарной классификации снежного покрова применяется пороговое значение $NDSI > 0.4$, которое хорошо зарекомендовало себя в условиях горных районов Казахстана. Области, удовлетворяющие этому условию, классифицируются как снежные [9].

MODIS предоставляет готовые продукты снежного покрова с ежедневной периодичностью, рассчитанные с использованием аналогичного индекса на основе собственных каналов

GREEN: Band 4 (0.545–0.565 мк

SWIR: Band 6 (1.628–1.652 мкм) [9]

Формула NDSI идентична, а готовый продукт MOD10A1 включает маски облачности, водных объектов и качества данных. Он доступен в формате HDF и может быть обработан в ГИС-средах или специализированных платформах, таких как Google Earth Engine, где можно также проводить агрегацию данных по неделям или месяцам [10].

Таким образом для на основе спутниковых данных Landsat 8/9 OLI и MODIS были получены карты распределения снежного покрова в Тарбагатайском районе за период с 2024 -2025 гг. в соответствии с рисунком 9 и на территории всей Восточно-Казахстанской области за период с 2000- 2024 гг в соответствии с рисунком 10.

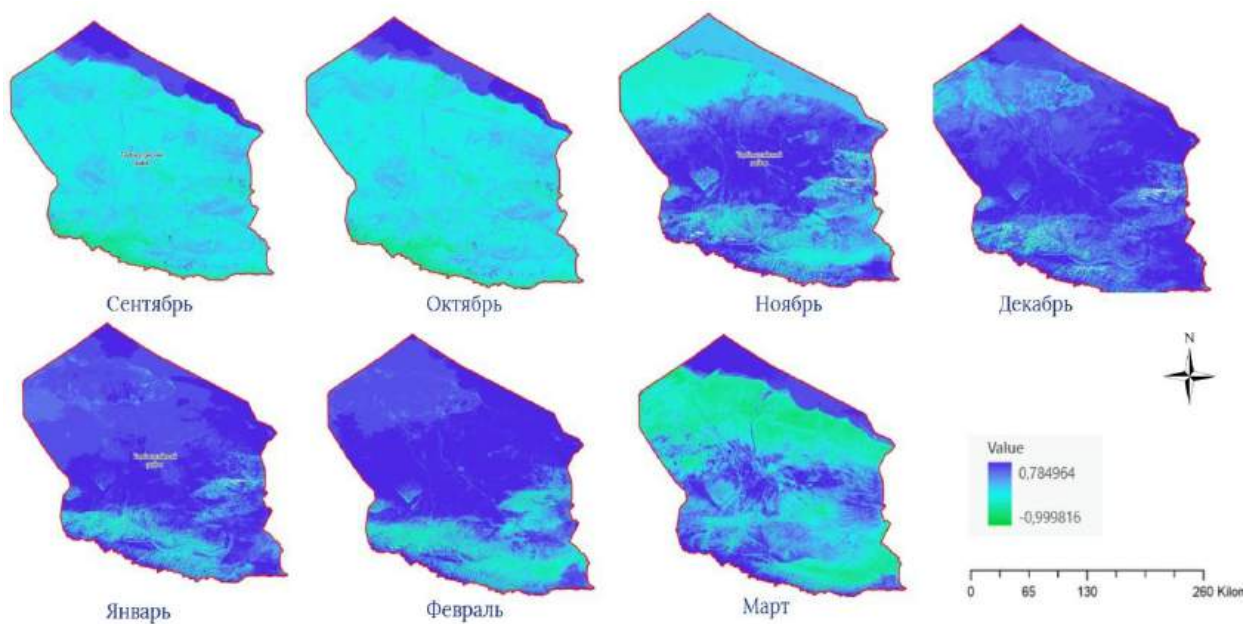


Рисунок 9 – Карта расчета индекса NDSI в Тарбагатайском районе за период с сентября по март

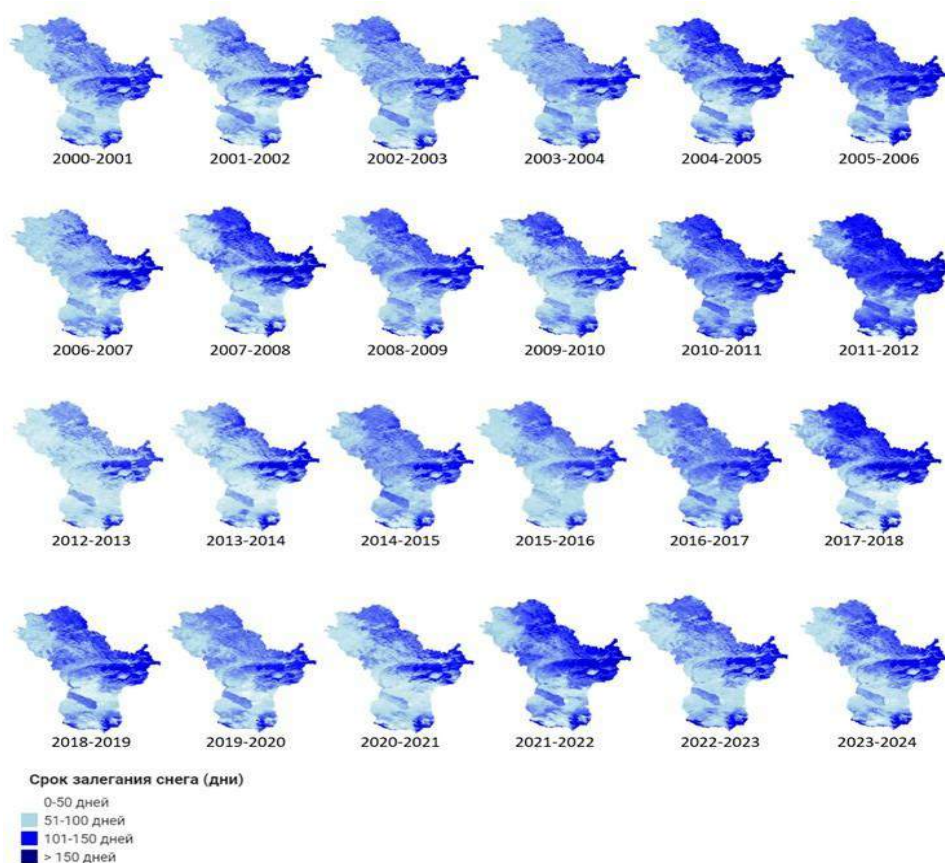


Рисунок 10 – Карты распределения снежного покрова в Восточно-Казахстанской области за период 2024-2025 гг

3.4 Создание ЦМР и карты высотных поясов Восточно-Казахстанской области

Создание цифровой модели рельефа (ЦМР) и последующая классификация высотного пояса региона представляют собой ключевые этапы в проведении пространственного анализа природных условий, в частности – при исследовании факторов, влияющих на распределение снежного покрова.

Цифровая модель рельефа (ЦМР) – это цифровое изображение рельефа, формат представления земной поверхности, в котором для каждой точки пространства указывается её высота над уровнем моря. Это своего рода «карта высот», созданная в виде сетки, где каждая ячейка (пиксель) содержит значение высоты местности. ЦМР - позволяет "увидеть" горы, холмы, долины и равнины не просто на карте, а в числовом виде, в виде набора данных о высоте.

Специально для этих целей ЦМР в дальнейшем будет обработана в ГИС программе.

ЦМР создаются на основе:

- спутниковых снимков и радиолокационных измерений,
- аэрофотосъёмки,
- лазерного сканирования (LiDAR) [11].

В данном исследовании использована модель Copernicus DEM с пространственным разрешением 30 м (GLO-30), предоставляемая Европейским космическим агентством (ESA) в свободном доступе на сайте Sentinel EO Browser в соответствии с рисунком 11.

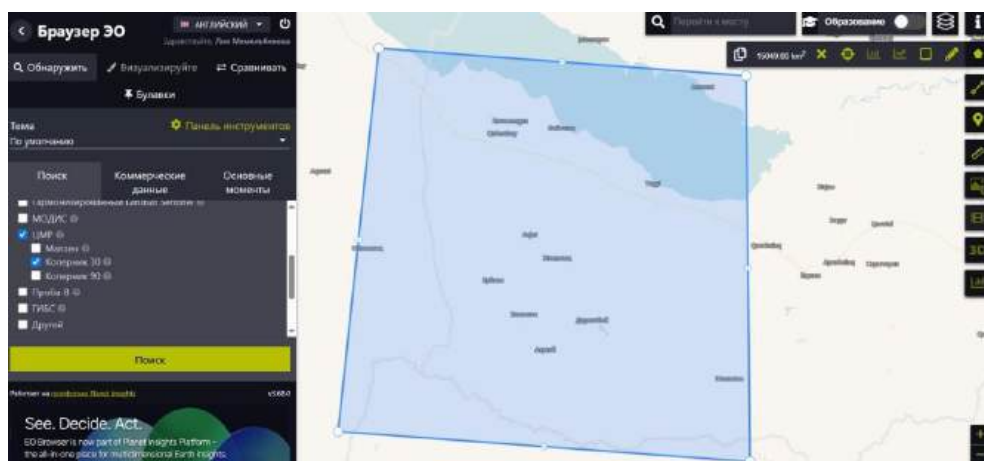


Рисунок 11 - Сайт Sentinel EO Browser для скачивания ЦМР.

На основе спутниковых данных с Sentinel EO Browser в ПО ArcGISPro была выполнена ЦМР, а затем и классифицированная карта высот для Восточно-Казахстанской области в соответствии с рисунком 12.

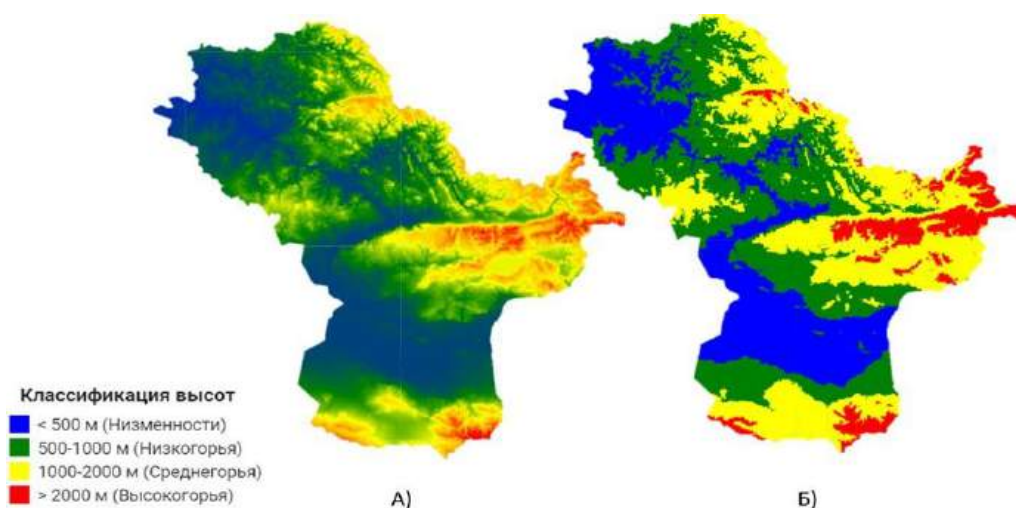


Рисунок 12 – А) ЦМР Восточно-Казахстанской области; Б) карта высот для Восточно-Казахстанской области.

Этапы выполнения:

- 1) Источник данных - Copernicus DEM, Sentinel EO Browser
- 2) Загрузка растра высот (DEM) в ArcGISPro, где был выполнен контроль целостности данных и их проекция в координатную систему WGS 84 / UTM zone 45N, соответствующую географическому положению исследуемого региона.
- 3) Визуализация непрерывной модели рельефа. Для повышения визуальной читаемости были применены цветовые градиенты от зелёного (низменности) до красного (высокогорья), что позволило наглядно отразить вариации высоты по территории области.
- 4) Разделение на 4 класса по диапазонам высот с применением инструмента классификации – Reclassify: <500 м – низменности; 500–1000 м – низкогорья; 1000–2000 м – среднегорья; 2000 м – высокогорья.
- 5) Построение классифицированной карты (карта Б);
- 6) Присвоение уникальных цветов каждой категории

3.5 Формирование карт уклонов и экспозиции склонов по данным Copernicus DEM

Цифровая модель рельефа (ЦМР) является базовым инструментом для анализа геоморфологических характеристик территории, таких как крутизна (уклон) и ориентация склонов (экспозиция).

Данных Copernicus DEM такого уровня детализации позволяет производить локализованный анализ склонов даже в сложной горной местности, типичной для Тарбагатайского района. На основе этих данных были построены растры уклонов рельефа и растры экспозиции склонов [12].

Обработка данных включала следующие этапы:

- 1) Импорт цифровой модели рельефа в ArcGISPro ;
- 2) Растровый анализ:
- 3) Построение карты уклонов (Slope Map) соответствии с рисунком 13 – расчет градиента высоты по направлению ячейки;
- 4) Построение карты экспозиций (Aspect Map) соответствии с рисунком 14 – определение ориентации ячейки относительно северного направления



Рисунок 13 – Растр уклонов рельефа

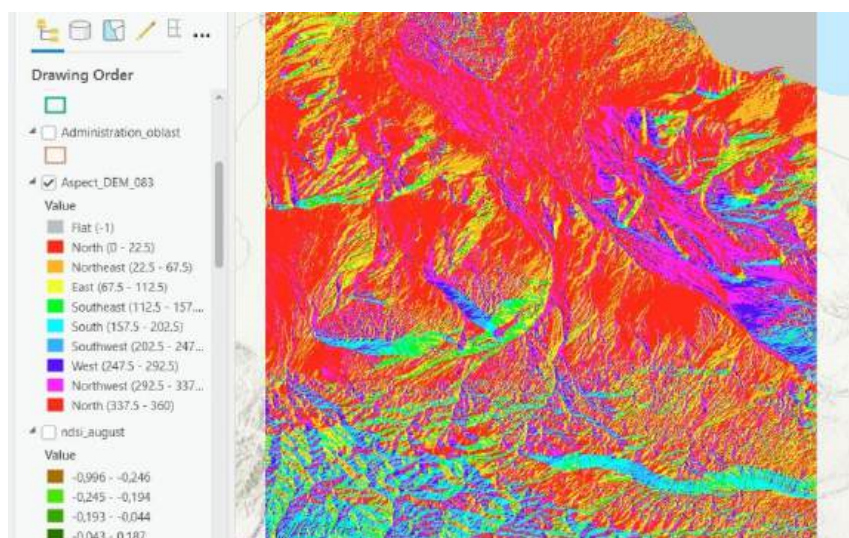


Рисунок 14 – Растр экспозиции склонов

Таблица 3 – Классификация уклонов рельефа и их интерпретация:

Класс уклона	Диапазон (°)	Характеристика местности	Значение
I	0–3	Равнинная, почти горизонтальная	Низкая вероятность накопления снега
II	3–7	Слабо наклонённая поверхность	Умеренное накопление, слабый сход
III	7–15	Пологонаклонённая	Накапливается снег, возможна задержка талой воды
IV	15–25	Умеренно крутая	Устойчивое удержание снежного покрова
V	25–35	Крутая	Повышенный риск лавин и схода снега
VI	>35	Очень крутая, обрывистая	Снежный покров практически не удерживается

Таблица 4 – Интерпретация экспозиции склонов по сторонам горизонта

Диапазон азимута (°)	Направление	Описание влияния на снежный покров
0–22.5 / 337.5–360	Север	Минимальная инсоляция, длительное удержание снега
22.5–67.5	Северо-восток	Холодные склоны, снег тает медленно
67.5–112.5	Восток	Умеренная инсоляция утром
112.5–157.5	Юго-восток	Солнце активно с утра, снег тает быстрее
157.5–202.5	Юг	Максимальная солнечная экспозиция, активное таяние
202.5–247.5	Юго-запад	Сильная инсоляция после полудня
247.5–292.5	Запад	Солнце вечером, умеренное таяние
292.5–337.5	Северо-запад	Снег сохраняется дольше, особенно в тени
—	Плоская поверхность (–1)	Нет выраженной экспозиции, равнина

Диапазон азимута (°)	Направление	Описание влияния на снежный покров
0–22.5 / 337.5–360	Север	Минимальная инсоляция, длительное удержание снега
22.5–67.5	Северо-восток	Холодные склоны, снег тает медленно
67.5–112.5	Восток	Умеренная инсоляция утром
112.5–157.5	Юго-восток	Солнце активно с утра, снег тает быстрее
157.5–202.5	Юг	Максимальная солнечная экспозиция, активное таяние
202.5–247.5	Юго-запад	Сильная инсоляция после полудня
247.5–292.5	Запад	Солнце вечером, умеренное таяние
292.5–337.5	Северо-запад	Снег сохраняется дольше, особенно в тени
—	Плоская поверхность (–1)	Нет выраженной экспозиции, равнина

Формирование карт уклонов и экспозиции склонов на основе цифровой модели рельефа Copernicus DEM позволило получить детализированное представление о морфометрической структуре исследуемой территории в соответствии с таблицами 3 и 4. Проведённый анализ подтвердил высокую пространственную неоднородность рельефа Тарбагатайского района, что напрямую влияет на особенности снежного накопления, таяния и перераспределения снега. Полученные карты являются важным инструментом для выявления потенциально лавиноопасных и снегозадерживающих участков, а также для оценки пригодности земель под различные виды землепользования. Использование данных Copernicus DEM в среде ГИС обеспечивает объективную и воспроизводимую основу для пространственного анализа природных процессов и принятия решений в сфере кадастрового и агроэкологического планирования.

3.6 Пространственно-временной анализ динамики снежного покрова:

В результате работы были созданы карты распределения снежного покрова в Тарбагатайском районе за период с 2024 -2025 гг. и на территории всей Восточно-Казахстанской области за период с 2000- 2024 гг. Также были построены ЦМР и классифицированная карта высот для Восточно-Казахстанской области. На основе полученных данных можем проанализировать динамику снежного покрова.

В ходе пространственно-временного анализа снежного покрова в Восточно-Казахстанской области выявлены значительные различия в его продолжительности, обусловленные высотной поясностью рельефа. На

равнинных участках (до 500 м над уровнем моря) снег удерживается менее 50 дней, тогда как в высокогорных районах (свыше 2000 м) продолжительность снежного покрова превышает 150 дней. Классификация территории по высотным поясам позволила установить четкую зависимость между высотой местности и сроками залегания снега. Низменности характеризуются кратковременным снежным покровом, в то время как в низкогорьях (500–1000 м) и среднегорьях (1000–2000 м) продолжительность его увеличивается соответственно. Максимальные значения наблюдаются в высокогорьях, что связано с более низкими температурами и специфическими климатическими условиями этих районов.

Цифровая модель рельефа (ЦМР) и классифицированная карта высот, представленные в исследовании, наглядно демонстрируют распределение высотных поясов и соответствующие им сроки залегания снежного покрова. Синие зоны на карте указывают на низменности с минимальной продолжительностью снега, зеленые и желтые – на низко- и среднегорья с увеличенными сроками, а красные – на высокогорья с максимальной продолжительностью снежного покрова.

Анализ многолетних данных также показал, что в условиях глобального потепления наиболее значительные изменения в продолжительности снежного покрова происходят на низменных территориях, где наблюдается тенденция к сокращению сроков его залегания. В то же время, в высокогорных районах продолжительность снежного покрова остается относительно стабильной, что подтверждает влияние высотного рельефа на климатические условия региона.

Полученные результаты согласуются с предыдущими исследованиями и подчеркивают необходимость учета высотной поясности при прогнозировании изменений снежного покрова и разработке адаптационных мер в условиях изменяющегося климата.

3.7 Пространственный анализ распределения уклонов рельефа и их взаимосвязь с категориями землепользования

1. Построение карты уклонов рельефа с наложением границ землепользования

Для проведения пространственного анализа морфометрических характеристик территории Восточно-Казахстанской области была создана тематическая карта уклонов рельефа с наложением векторных слоев землепользования. В качестве исходных данных использовалась цифровая модель рельефа (ЦМР), на основе которой проведена реклассификация уклонов по шести классам (от пологих до крутых склонов). Далее произведена интеграция с данными по землепользованию, включающими сельскохозяйственные земли, населенные пункты и другие категории земель. Цветовая градация на карте соответствует различным классам уклона: от светло-зеленого (наименьшие уклоны) до ярко-красного (наибольшие уклоны).

Четкая граница между различными классами рельефа позволяет визуализировать потенциальные ограничения или преимущества использования земель в различных зонах в соответствии с рисунком 15.

2. Классификация и количественная оценка распределения уклонов

На основании пространственного пересечения были рассчитаны площади земельных участков, приходящиеся на каждый из шести классов уклона. Полученные данные представлены в виде столбчатой диаграммы, отражающей количественное соотношение площадей по значениям gridcode, где каждый код соответствует определенному интервалу уклонов: Gridcode 1 (пологие склоны) – 3 652,85 га (наибольшая площадь); Gridcode 2 – 1 694,35 га; Gridcode 3 – 719,39 га; Gridcode 4 – 511,59 га; Gridcode 5 – 529,62 га; Gridcode 6 (крутые склоны) – 1 257,55 га.

Из диаграммы видно, что наибольшая часть земель приходится на пологие территории (gridcode 1), что потенциально благоприятствует ведению сельскохозяйственной деятельности. Значительные площади крутых склонов (gridcode 6) также представлены в структуре землепользования, что требует более детальной оценки с точки зрения эрозионной опасности и устойчивости землепользования.

3. Анализ пространственного распределения

На основе полученной карты можно сделать вывод о пространственной неоднородности уклонов в пределах исследуемого района. Зоны с преобладанием крутых склонов, как правило, расположены в горной части территории, что подтверждается их пространственным совпадением с охраняемыми территориями и нерегулярными формами землепользования. В то же время пологие и умеренные склоны наблюдаются преимущественно в долинных зонах и вблизи населенных пунктов, что отражает логику распределения аграрного освоения.

4. Выводы

Проведенное пространственное моделирование и анализ позволили:

- Выявить доминирование пологих склонов на значительной части исследуемой территории, что подтверждает пригодность этих участков для интенсивного сельскохозяйственного использования;

- Установить участки с высокими уклонами, требующие внедрения мероприятий по охране почв и предотвращению эрозии;

- Определить актуальность интеграции морфометрического анализа в процесс землеустроительного планирования, особенно в горных и предгорных зонах Восточного Казахстана.

Исходя из вышеупомянутого, учет морфологических характеристик рельефа при управлении землепользованием является важным аспектом устойчивого природопользования и кадастрового зонирования.

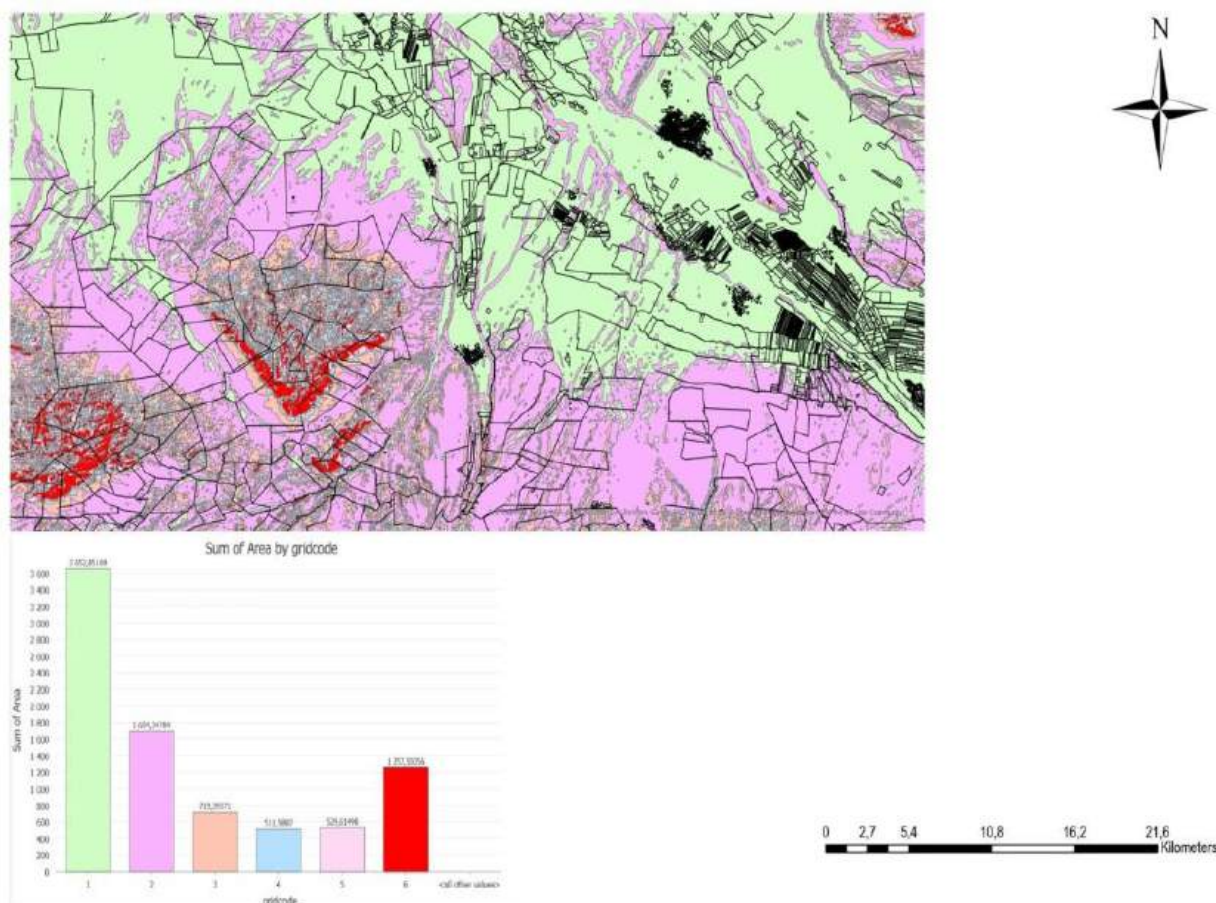


Рисунок 15 – Карта соотношения распределения земельных участков по уклонам рельефа

3.8 Практическая значимость и направления интеграции результатов в кадастровую практику

Результаты проведённого исследования обладают высокой прикладной значимостью для различных сфер пространственного планирования и управления землепользованием, особенно в условиях горных и предгорных территорий Восточно-Казахстанской области. Разработанная методика комплексной оценки снежного покрова с использованием данных дистанционного зондирования Земли (Landsat 8–9, MODIS), цифровой модели рельефа (Copernicus DEM) и инструментов геоинформационного анализа (ArcGIS Pro) позволяет перейти от описательного подхода к объективному, количественному и пространственно ориентированному кадастровому мониторингу.

Ключевым практическим результатом является создание серии тематических карт, отражающих морфометрические и климатические характеристики территории: карты уклонов, экспозиции склонов, высотных поясов, зон с различной продолжительностью снежного покрова, а также карты пространственного распределения снежной нагрузки по данным многолетнего

спутникового мониторинга. Эти материалы являются основой для:

- обоснованного территориального зонирования с учётом природных ограничений;
- идентификации и корректировки категорий земель, в особенности тех, что подвержены снежным, паводковым и эрозионным рискам;
- оптимизации аграрного землепользования, включая планирование структуры посевов, сроков сева и размещения пастбищ;
- оценки пригодности территорий для строительства и инфраструктурных проектов;
- определения участков неэффективного использования земель, включая территории, подверженные избыточному накоплению снежного покрова или временным подтоплениям в период весеннего таяния

Практическое применение полученных данных может быть реализовано в деятельности органов местного самоуправления, землеустроительных организаций, кадастровых служб и агроэкологических консалтинговых структур. Интеграция разработанных карт и пространственных слоёв в действующие кадастровые и информационно-аналитические системы позволит:

- повысить оперативность и точность принятия управленческих решений;
- обеспечить дифференцированный подход к землепользованию в зависимости от природных и климатических условий;
- снизить потенциальные убытки за счёт предупреждения природных угроз и внедрения адаптивных моделей ведения хозяйства.

Кроме того, созданные классификации участков с высоким уровнем снежного накопления и пространственные модели снежного режима могут служить основой для разработки зон с особыми условиями использования территорий (ЗООИТ), что особенно актуально в контексте современного кадастрового и градостроительного законодательства Республики Казахстан.

Таким образом, практическое внедрение результатов данного исследования способствует формированию более устойчивой и экологически обоснованной системы землепользования в горных регионах, снижает природные риски и обеспечивает интеграцию климатических факторов в процессы пространственного и кадастрового планирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование подтвердило высокую эффективность интеграции методов дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий в мониторинг снежного покрова для целей кадастрового анализа. Пространственно-временной анализ позволил выявить закономерности распределения снежного покрова в пределах Тарбагатайского района Восточно-Казахстанской области, зафиксировать сезонную и межгодовую изменчивость, а также оценить влияние природных факторов — рельефа, уклонов и экспозиции склонов — на интенсивность и продолжительность снегозалежания.

В результате обработки данных спутников Landsat 8–9 и MODIS с применением индекса NDSI были получены высокоточные карты снежного покрова, отражающие не только актуальное распределение снега, но и динамику его изменений на протяжении сезона. Визуализация и количественный анализ этих данных в среде ArcGIS Pro позволили установить, что участки с крутыми северными склонами и ложбинами характеризуются повышенным снегозадержанием и потенциальной лавиноопасностью. Выявленные пространственные закономерности легли в основу картографирования зон с особыми снежными рисками.

Дополнительно выполнен анализ рельефа на основе цифровой модели Sopericus DEM. Были построены карты уклонов и экспозиций, что дало возможность установить прямую зависимость между морфометрическими характеристиками территории и распределением снежного покрова. Это подтвердило, что именно рельеф является ключевым модифицирующим фактором снежной нагрузки, а его учёт необходим для корректной кадастровой оценки и зонирования земель.

Практическая значимость исследования заключается в обосновании возможности включения снежных характеристик в кадастровые документы как факторов, влияющих на режим и стоимость землепользования. Полученные данные позволяют:

- выявлять участки с ограниченной пригодностью к землепользованию вследствие сезонного подтопления и переувлажнения;
- формировать зоны с особыми условиями использования (ЗОУИТ);
- уточнять границы землепользования с учётом снежных барьеров;
- определять меры по адаптации землепользования к климатическим рискам.

Таким образом, представленный подход демонстрирует высокий потенциал внедрения в практику кадастрового мониторинга и пространственного планирования, особенно в условиях горных районов с выраженной сезонной динамикой природных процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тілләкәрім Т. А., Кауазов А. М., Сальников В. Г. Оценка изменений площади снежного покрова в Казахстане с 2000 по 2022 год – Москва, 2023 г.- 15 с.
2. Терехов А. Г. Спутниковый мониторинг формирования снежного покрова Казахстана. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2018 г.- 30 с.
3. Турулина Г. К., Сальников В. Г., Полякова С. Е., Муратова Н. Р. Современные тенденции продолжительности залегания снежного покрова в Северном Казахстане – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2013г. – 105 с.
4. Алжанов А., Нугуманова А. High-Resolution Satellite Estimation of Snow Cover for Flood Analysis in East Kazakhstan Region – Нур-Султан: Astana IT University, 2024г – 43 с.
5. Маштаева Ш., Дай Л., Чэ Т., Сагинтаев Ж., Садвакасова С., Кусаинова М., Алимбаева Д., Акинбеккызы М. Пространственно-временная изменчивость глубины снежного покрова по данным пассивного микроволнового дистанционного зондирования в Казахстане. – Астана: Казгидромет, 2016г. – 19 с.
6. Терехов А. Г., Пак И. Т., Долгих С. А. Система спутникового мониторинга весеннего таяния снежного покрова в Казахстане / А. Г. Терехов, И. Т. Пак, С. А. Долгих. – Алматы: Казгидромет, 2018 г. – 14 с.
7. ESA EO4Society. Snow and Ice Mapping in Kazakhstan: автоматический расчет NDSI и пороговое разделение снежного и бесснежного покрова с использованием Sentinel-2 и MODIS / ESA EO4Society team. – Нур-Султан: ESA EO4Society Project, 2020. – 135 с.
8. Sentinel Hub EO Browser – ресурс для скачивания космоснимков и цифровых моделей рельефа.
9. IPCC. Sixth Assessment Report, WG I: The Physical Science Basis – Regional Fact Sheet: Asia / Intergovernmental Panel on Climate Change. – Женева: IPCC, 2021 г. – 25 с.
10. Tsai Ya-Lun S., Dietz A., Oppelt N. Remote Sensing of Snow Cover Using Spaceborne SAR: A Review / Ya-Lun S. Tsai, A. Dietz, N. Oppelt. – Базель: MDPI, 2019 г. – 18 с.
11. Pan M., Zhao F., Ma J. Effect of Snow Cover on Spring Soil Moisture Content in Key Agricultural Areas of Northeast China / M. Pan, F. Zhao, J. Ma. – Базель: MDPI, 2022 г. – 23 - 34с.
12. Aghelpour P., Guan Y. Using the MODIS Sensor for Snow Cover Modeling and the Assessment of Drought Effects on Snow Cover in a Mountainous Area / P. Aghelpour, Y. Guan. – Базель: MDPI, 2020 г. – 51 с.

Приложение А

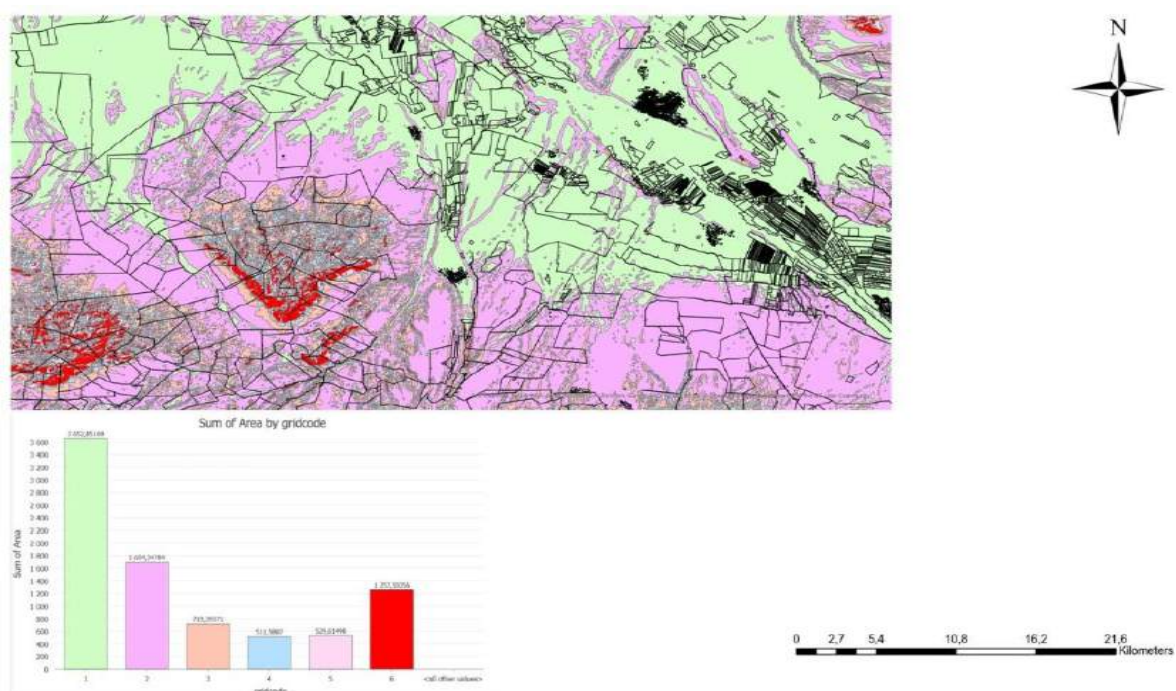


Рисунок А.1 – Карта соотношения распределения земельных участков по уклонам рельефа

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Мемельбекова Лия Рустамовна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Диплом Мемельбекова Лия

Научный руководитель: Анжелика Камза

Коэффициент Подобия 1: 0

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 3

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



Заведующий кафедрой

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Мемельбекова Лия Рустамовна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Диплом Мемельбекова Лия

Научный руководитель: Анжелика Камза

Коэффициент Подобия 1: 0

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 3

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 16.06.2022.



Бабурова О.
проверяющий эксперт

**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на дипломную работу
Мемельбекова Лия Рустамовна

6B07304 – Геопространственная цифровая инженерия

**На тему: «Мониторинг распределения снежного покрова в горных
районах Казахстана на основе данных спутникового зондирования с
использованием ГИС»**

В дипломной работе рассматривается актуальная и практически значимая задача — использование данных спутникового дистанционного зондирования в сочетании с геоинформационными технологиями для мониторинга снежного покрова в горных районах Восточно-Казахстанской области. Такой подход направлен на повышение точности и актуальности кадастровой информации, особенно в труднодоступных и слабоизученных территориях.

Одним из ключевых достижений является возможность уточнения границ землепользования, учёта сезонных природных факторов при проведении кадастровой оценки и пространственного зонирования. Работа демонстрирует, как современные методы дистанционного зондирования и цифрового моделирования могут эффективно использоваться в целях повышения достоверности земельно-кадастровых данных.

Важной особенностью исследования является интеграция спутниковых данных с цифровыми моделями рельефа и кадастровыми слоями, что позволяет выявлять изменения в структуре землепользования и потенциальные зоны риска, связанные с сезонными природными процессами. Такой подход способствует более обоснованному принятию решений при планировании землепользования и оценке кадастровой стоимости.

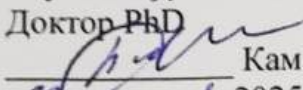
Дипломная работа отличается высоким уровнем теоретической подготовки, грамотным подбором источников данных и уверенным владением ГИС-инструментами, включая обработку спутниковых изображений, пространственный анализ и визуализацию результатов. Полученные данные имеют практическую ценность для кадастровых служб, землеустроительных организаций и органов государственного управления земельными ресурсами.

Работа выполнена на высоком профессиональном уровне, демонстрирует самостоятельность мышления, аналитические способности и прикладной характер исследования. Диплом заслуживает оценки «отлично» (97%) и рекомендуется к защите. Автор доказал свою готовность к

профессиональной деятельности и достоин присвоения степени бакалавра по образовательной программе 6B07304 «Геопространственная цифровая инженерия».

Научный руководитель:

Доктор PhD

 Камза А. Т.

«09 июня» 2025 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Мемельбекова Лия Рустамовна

6B07304 – Геопространственная цифровая инженерия

На тему: «Мониторинг распределения снежного покрова в горных районах Казахстана на основе данных спутникового зондирования с использованием ГИС»

Выполнено:

- а) графическая часть на 10 листах
- б) пояснительная записка на 30 листах

В представленной на рецензию дипломной работе рассмотрены актуальные вопросы пространственного анализа снежного покрова с использованием современных методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных систем (ГИС). В качестве объекта исследования выбрана территория Восточно-Казахстанской области, а именно горные участки Тарбагатайского района, подверженные снежным и лавиноопасным процессам, что придаёт работе высокую прикладную значимость.

Целью дипломной работы является анализ пространственного распределения снежного покрова и его влияние на кадастровое зонирование, землепользование и потенциальные риски, с применением индекса NDSI, цифровых моделей рельефа и многоспектральных спутниковых данных.

В теоретической части дипломной работы глубоко раскрыты основы формирования снежного покрова, его влияние на землепользование и кадастровые процессы. Методическая часть работы свидетельствует о глубоком владении автором современными инструментами дистанционного зондирования Земли, включая обработку спутниковых снимков Landsat и MODIS. Особое внимание уделено расчёту нормализованного индекса снежного покрова (NDSI) и применению цифровой модели рельефа Copernicus DEM для проведения анализа уклонов и экспозиции склонов местности.

Достоинством работы является комплексный подход, высокий уровень самостоятельности, корректное применение методов пространственного анализа, а также наличие картографических приложений, таблиц и диаграмм.

К недостаткам можно отнести: необходимость более подробного раскрытия перспектив использования полученных данных в системе кадастрового мониторинга.

Оценка работы

С учётом вышеизложенного считаю, что данная дипломная работа соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам бакалавра, выполнена на высоком научно-практическом уровне, заслуживает оценки «отлично» (97 %) и рекомендуется к защите.

Рецензент:

Старший преподаватель

КазНАИУ кафедры

«Земельные ресурсы и кадастр»

 Серикбаева Г. К.

«10» июня 2025 г.

