



УДК 911.6:63(571.56)
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2026.57.45>

Геоинформационная оценка пригодности сельскохозяйственных ландшафтов Лено-Амгинского междуречья Центральной Якутии

М. И. Захаров, А. В. Халдеев*

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск, Россия

М. М. Черосов

*Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ ЯНЦ СО РАН,
г. Якутск, Россия*

Аннотация. Отмечается, что оценка пригодности земель является основой рационального использования агроландшафтов и принятия управленческих решений в сфере сельскохозяйственного землепользования. В Центральной Якутии, где хозяйственная деятельность ведется в условиях криолитозоны, резко континентального климата и активных криогенных процессов, такая оценка становится необходимым инструментом управления сельскохозяйственным землепользованием. Целью исследования является геоинформационная оценка пригодности сельскохозяйственных ландшафтов Лено-Амгинского междуречья Центральной Якутии на основе интеграции данных дистанционного зондирования, климатического реанализа и кадастровых сведений. В качестве интегрального показателя использован индекс пригодности земель (LSI), рассчитанный по нормированным климатическим (сумма активных температур, гидротермический коэффициент Селянинова, продолжительность периода с температурой выше 0 °C), геоморфологическим (высота, уклон, экспозиция), биопродукционным (максимальное значение NDVI, амплитуда колебаний NDVI) и ландшафтными параметрам (класс ландшафтного покрова ESA WorldCover). Весовые коэффициенты факторов определены методом анализа иерархий (АНП). Расчеты выполнены для 20 262 полигонов сельскохозяйственных земель. По количеству полигонов к высокопригодным территориям отнесено 22,27 %, к пригодным – 69,36 %, к ограниченно пригодным – 8,22 %, к малопригодным – 0,14 %. Наиболее высокие значения LSI характерны для пойменных ландшафтов (средний индекс 80,18 балла). Определено, что аласные и мелкодолинные ландшафты относятся преимущественно к пригодным территориям, межаласные пространства характеризуются более выраженными ограничениями. Установлено, что итоговая пригодность определяется совместным действием современного состояния растительного покрова ($r = 0,781$), вегетационной активности ($r = 0,518$) и климатических условий ($r = 0,432$). Полученные результаты могут использоваться для агроэкологического зонирования, планирования возврата залежных земель в оборот, выбора направлений мелиорации и оптимизации структуры сельскохозяйственных угодий в Центральной Якутии.

Ключевые слова: сельскохозяйственные ландшафты, пригодность земель, LSI, Лено-Амгинское междуречье, Центральная Якутия, ERA5-Land, NDVI, ESA WorldCover.

Для цитирования: Захаров М. И., Халдеев А. В., Черосов М. М. Геоинформационная оценка пригодности сельскохозяйственных ландшафтов Лено-Амгинского междуречья Центральной Якутии // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2026. Т. 57. С. 45–63. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2026.57.45>

GIS Land Suitability Assessment of Agricultural Landscapes in the Lena-Amga Interfluve (Central Yakutia)

M. I. Zakharov, A. V. Khaldeev*

M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

M. M. Cherosov

Yakutsk Research Institute of Agriculture, FRC YSC SB RAS, Yakutsk, Russian Federation

Abstract. Land suitability assessment is the foundation for the rational use of agricultural landscapes and for making land use management decisions in agricultural land use. In Central Yakutia, where agriculture is practiced under conditions of permafrost extent, extreme continental climate, and active cryogenic processes, such an assessment becomes a necessary basis for management. The aim of the study is to geoinformation assess the suitability of agricultural landscapes in the Lena-Amga interfluve of Central Yakutia based on the integration of remote sensing data, climate reanalysis, and cadastral information. The Land Suitability Index (LSI), calculated using normalized climatic (accumulated active temperatures, Selyaninov hydrothermal coefficient, duration of the period with temperatures above 0°C), geomorphological (elevation, slope, aspect), bioproduction (maximum NDVI, NDVI amplitude), and landscape (ESA WorldCover land cover class) parameters, was used as an integral indicator. Factor weights were determined using the Analytic Hierarchy Process (AHP). Calculations were performed for 20,262 agricultural land polygons. Based on the number of polygons, 22.27% were classified as highly suitable, 69.36% as suitable, 8.22% as moderately suitable, and 0.14% as marginally suitable. The highest LSI values are characteristic of floodplain landscapes (average index of 80.18 points). Alas and small-valley landscapes are mostly classified as suitable, while inter-alas areas exhibit more pronounced limitations. It was established that the overall suitability is determined by the combined effect of current land cover ($r = 0.781$), vegetation activity ($r = 0.518$), and climatic conditions ($r = 0.432$). The obtained results can be used for agroecological zoning, planning the return of fallow lands into agricultural use, selecting reclamation measures, and optimizing the structure of agricultural lands in the Central Yakutia.

Keywords: agricultural landscapes, land suitability, LSI, Lena-Amga interfluve, Central Yakutia, ERA5-Land, NDVI, ESA WorldCover.

For citation: Zakharov M.I., Khaldeev A.V., Cherosov M.M. GIS Land Suitability Assessment of Agricultural Landscapes in the Lena-Amga Interfluve (Central Yakutia). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2026, vol. 57, pp. 45–63. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2026.57.45> (in Russian)

Введение

Оценка пригодности земель для сельскохозяйственного использования является фундаментальной основой рационального природопользования и обеспечения продовольственной безопасности. В условиях климатических изменений, оказывающих все более заметное влияние на агроландшафты, эта задача приобретает особую актуальность для регионов криолитозоны, где природные условия земледелия являются экстремальными. Центральная Якутия представляет собой ключевой аграрный район Республики Саха (Якутия), в котором сосредоточена значительная часть посевных площадей и поголовья сельскохозяйственных животных региона [Influence ... , 2021]. Вместе с тем данная территория характеризуется сложным сочетанием природных факторов, включая сплошное распространение многолетнемерзлых пород, климат с очень низкими зимними и относительно высокими летними

температурами (зона Dfd по климатической классификации Кеппена – Гейгера) [Захаров, Тананаев, 2025], а также активное развитие криогенных процессов, в первую очередь термокарста. Значительный вклад в изучение агроландшафтов Центральной Якутии внесен работами по адаптивному земледелию в среднетаежной зоне [Иванова, 2004], агроэкологической группировке земель, оценке продуктивности кормовых культур и обоснованию систем земледелия для различных типов агроландшафтов таежной зоны Якутии [Иванова, Корякина, Адамова, 2014]. Почвенные исследования термокарстовых котловин (аласов), их генезиса, свойств и продуктивности заложили фундамент для понимания почвенных процессов в аласных ландшафтах и их роли в сельскохозяйственном производстве [Десяткин, 2008]. Экологическое описание почв долин рек и анализ их температурного режима применительно к сельскохозяйственному использованию представлены в коллективной монографии Л. С. Ивановой с соавторами [Иванова, Корякина, Адамова, 2014]. В этой работе в качестве картографической основы агроэкологической группировки земель и агроландшафтного районирования Центральной Якутии использованы типологические мерзлотно-ландшафтные единицы (типы ландшафтов и типы местности) [Permafrost-Landscape ... , 2018]. Указанные исследования заложили научную базу для ландшафтно-адаптивного подхода к землепользованию в условиях сильнольдистой криолитозоны. С помощью геостатистических методов проведена оценка продуктивности агроландшафтов, разделение факторов воздействия на урожайность на активные и потенциальные, а также предложены системы мероприятий по повышению реализации продуктивности культур на различных типах ландшафтов [Иванов, 2019].

Агроландшафтные исследования и изучение аграрной трансформации ландшафтов в Сибири базируются на учении о геосистемах академика В. Б. Сочавы. Ключевым методологическим подходом в этих работах является выделение парциальных геосистем и геомов, где один из природных или антропогенных компонентов выступает в качестве системообразующего фактора [Сочава, 1978]. В отличие от интегральных ландшафтных исследований, изучающих всю совокупность взаимосвязей, парциальный подход фокусируется на доминирующем факторе, что позволяет эффективно решать прикладные задачи, в частности, оценки агроприродного потенциала [Семенов, Лысанова, 2018]. Разработанная в рамках данного подхода методика оценки агроприродного потенциала геосистем включает несколько взаимосвязанных этапов. На основе ландшафтной карты проводится агроландшафтное картографирование, где наряду с природными геосистемами отражены агроландшафты – природно-производственные геосистемы, сформировавшиеся в результате взаимодействия сельскохозяйственного производства и природных компонентов [Лысанова, 2020]. Использование системного подхода дает возможность анализировать не только статику, но и изменчивость геосистем через выделение серийных фаций под влиянием внешних (в том числе антропогенных) нагрузок, выявлять механизмы их устойчивости и прогнозировать направления преобразований [Коновалова, Бессолицына, 2011].

В последние десятилетия опубликовано значительное количество исследований, посвященных применению геоинформационного моделирования и картографирования для оценки пригодности сельскохозяйственных земель с использованием различных количественных методов и методологических подходов. Одним из часто используемых подходов является комбинация ГИС и метода аналитической иерархии (АНР) для анализа пригодности земель по категориям в соответствии с классификацией пригодности земель Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) [Akinci, Ozalp, Turgut..., 2013; Digital ... , 2024; Mapping ... , 2026]. Ряд исследований посвящен применению многокритериального подхода совместно с пространственным анализом. Так, анализ пригодности земель для производства риса с использованием ГИС и многокритериального подхода выполнен в работе [Adrian, Munibah, Firmansyah, 2022]. Дальнейшее развитие методов связано с применением гибридных схем, сочетающих ГИС и алгоритмы многокритериальной оценки. В частности, при определении пригодности земель для выращивания цитрусовых использованы методы нечеткой логики и АНР [Mokarram, Mirsoleimani, 2018]. Для оценки пригодности земель под зерновые культуры предложен гибридный подход на основе АНР и ГИС, позволяющий генерировать индекс пригодности земель для пшеницы с учетом совокупности пространственных (ландшафтных) факторов [Dedeoglu, Dengiz, 2019]. В более широком контексте планирования землепользования разработан геопространственный подход к оценке пригодности территорий при смене типов землепользования, который учитывает множественные выгоды: экологические, климатические, природоохранные и экономические [Exploring ... , 2025]. Указанные методики демонстрируют высокий потенциал интеграции ГИС и многокритериальных методов для задач агроэкологической оценки территорий.

В условиях мерзлотных ландшафтов геопространственная оценка сельскохозяйственной пригодности и совместимости землепользования проведена для территории с умеренно континентальным климатом Европы [Geospatial ... , 2024]. Методика геоинформационной оценки земель может быть реализована с применением массива пространственных данных ландшафтных факторов для картирования пригодности земель под основные сельскохозяйственные культуры. На основе факторов (климатических, геоморфологических и почвенных), нормализованных в интервале 0–1 и с весовыми коэффициентами по АНР, рассчитывается индекс пригодности земель (Land Suitability Index, LSI). Сравнение климатического фактора за периоды 1961–1990 гг. и 1990–2019 гг. выявило значительное потепление для территории Румынии, что обусловило необходимость адаптации методологии к изменившимся климатическим условиям [Digital ... , 2024]. Современные методы агроландшафтных исследований все чаще основываются на интеграции данных реанализа и дистанционного зондирования.

Стратегия мониторинга изменений ландшафтного покрова (land cover) в Центральной Якутии на основе разновременных данных Landsat позволяет различать краткосрочные и долгосрочные изменения в бореальных экоси-

стемах [Monitoring ... , 2024]. Предложенная схема анализа достигла точности более 90 % и позволила выявить пространственно-временные паттерны трансформации аласных ландшафтов. Показано, что экосистемные нарушения, вызванные пожарами, могут быть обусловлены не только климатическими условиями, но и локальными гидротермическими характеристиками деятельного слоя. В 2010-е гг. на террасах рек Лены и Алдан зафиксировано сокращение площади озер и значительное уменьшение лесных площадей.

Значительный вклад в изучение агроландшафтов криолитозоны вносят исследования с использованием данных реанализа, объединяющих спутниковые наблюдения и моделирование. На основе анализа оптических (Landsat), радарных (TerraSAR-X) и альтиметрических данных показано, что изменчивость аласных ландшафтов оказывает сильное влияние на сельскохозяйственное землепользование [Recent ... , 2018]. Установлено, что динамика продуктивности аласных лугов на 50 % объясняется количеством осадков предзимнего периода с запаздыванием в два года, что обусловлено буферным эффектом почв водосборных бассейнов. При этом реальная продуктивность аласов в несколько раз ниже теоретической из-за деградации, вызванной термокарстом и заболачиванием наиболее продуктивных фитоценозов [Recent ... , 2018]. Методика картографирования аласов использует географическое моделирование на основе анализа изображений и географических онтологий, интегрирующее три уровня распознавания географических объектов: классификацию наземного (ландшафтного) покрова методами машинного обучения (SVM, SAM), объектно-ориентированный анализ морфологических структур и категоризацию с учетом знаний местного населения, формализованных [Alas ... , 2020]. Данный подход обеспечивает многомерное распознавание аласных ландшафтов, интегрируя био- и геофизические компоненты, морфологические характеристики и антропогенные объекты. Интеграция спутниковых и беспилотных данных дистанционного зондирования позволила выявить активное развитие термокарста в Центральной Якутии, показав, что наиболее интенсивные просадки поверхности (до 2 см/год) приурочены к антропогенно нарушенным территориям, в первую очередь к заброшенным сельскохозяйственным полям [Thermokarst ... , 2021]. На территории Лено-Амгинского междуречья проведены исследования по созданию ГИС-базы данных аласов, всего выделено более 15 тыс. аласов с площадью более 1 га. На основе анализа геологического строения, геоморфологических, гидрологических и ландшафтных особенностей выделено семь аласных районов. Установлено, что плотность распространения аласов крайне неравномерна, а максимальные значения зафиксированы в районе рек Суола и Татта [Шестакова, Торговкин, 2023].

Таким образом, несмотря на значительный объем исследований по методике оценки земель, изучению криогенных процессов, адаптивно-ландшафтному земледелию и пространственному анализу аласных ландшафтов, комплексная количественная оценка пригодности агроландшафтов Центральной Якутии для целей адаптивного земледелия с интеграцией методов геоинформационной оценки на базе данных реанализа и дистанционного зондирования до настоящего времени не проводилась.

Целью настоящего исследования является геоинформационная оценка пригодности сельскохозяйственных ландшафтов Лено-Амгинского междуречья Центральной Якутии для ведения земледелия на основе интеграции климатических, геоморфологических и биопродукционных факторов с использованием данных дистанционного зондирования, векторизованных кадастровых сведений и климатического реанализа. Оценка основана на пространственной дифференциации значений индекса пригодности земель (LSI) на территории, определяемой комплексным взаимодействием климатических условий (сумма активных температур, гидротермический коэффициент Селянинова, продолжительность вегетационного периода), геоморфологических характеристик (высота, уклон, экспозиция склонов) и биопродукционных показателей (максимальное значение NDVI и его межгодовая амплитуда).

Район исследования

Лено-Амгинское междуречье расположено в Центральной Якутии и представляет собой классическую территорию развития мерзлотных ландшафтов, характеризующихся широким распространением аласов – термокарстовых котловин, играющих ключевую роль в сельскохозяйственном использовании региона. В этом исследовании границы междуречья определяются границами наслегов Усть-Алданского, Мегино-Кангаласского, Чурапчинского, Таттинского и Томпонского районов, всего 111 наслегов (сельских поселений) общей площадью 116,7 тыс. км² (рис. 1).

Географическое положение исторически густонаселенной части Центральной Якутии обусловило высокую степень сельскохозяйственного освоения территории. Здесь развито мясомолочное скотоводство, мясное табунное коневодство. Район исследования является ключевой территорией производства кормов для животноводства региона. Выращиваются зерновые и кормовые культуры, овощи. В геоморфологическом отношении территория приурочена к Центрально-Якутской низменности, где преобладают пологоувалистые эрозионно-аккумулятивные равнины. Основными типами рельефа являются аласный (термокарстовые котловины), эрозионно-аккумулятивный и термокарстовый. В долине р. Амги прослеживаются разновысотные террасовые уровни, где выделяются пойма и четыре надпойменные террасы. Продуктивность аласных лугов часто ниже потенциальной из-за деградации, вызванной термокарстом и заболачиванием наиболее продуктивных фитоценозов.

Климат Лено-Амгинского междуречья резкоконтинентальный, характеризуется очень низкими среднегодовыми и зимними температурами, большими сезонными колебаниями и малым количеством осадков (табл. 1). Территория обладает густой, но неравномерно развитой речной сетью. С севера на юг междуречье пересекают притоки Амги, наиболее крупными из которых являются реки Татта, Тамма и Суола. Лено-Амгинское междуречье находится в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Северная часть междуречья характеризуется развитием ледового комплекса – мощных повторно-жильных льдов. На юге, в приводораздельных дренируемых участках, распространение ледового комплекса сокращается.

Поэтому территория представляет собой комплекс мерзлотных ландшафтов, где преобладают аласно-таежные комплексы растительности. Лесной покров занимает 72 % территории и представлен преимущественно лиственничными и сосново-лиственничными лесами на мерзлотных почвах. Встречаются также пойменные, мелкодолинные склоновые и межаласные типы ландшафта [Permafrost-Landscape ... , 2018]. Аласный тип местности как наиболее характерный для данного региона представляет собой замкнутые или полузамкнутые котловины, развитые на плакорных пространствах.

Векторной основой исследования послужил кадастровый слой сельскохозяйственных земель, содержащий сведения о границах участков, типе агроландшафта, категории земель и виде разрешенного использования. Векторные слои границ земельных участков получены в результате дешифрирования и векторизации материалов Публичной кадастровой карты Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр).

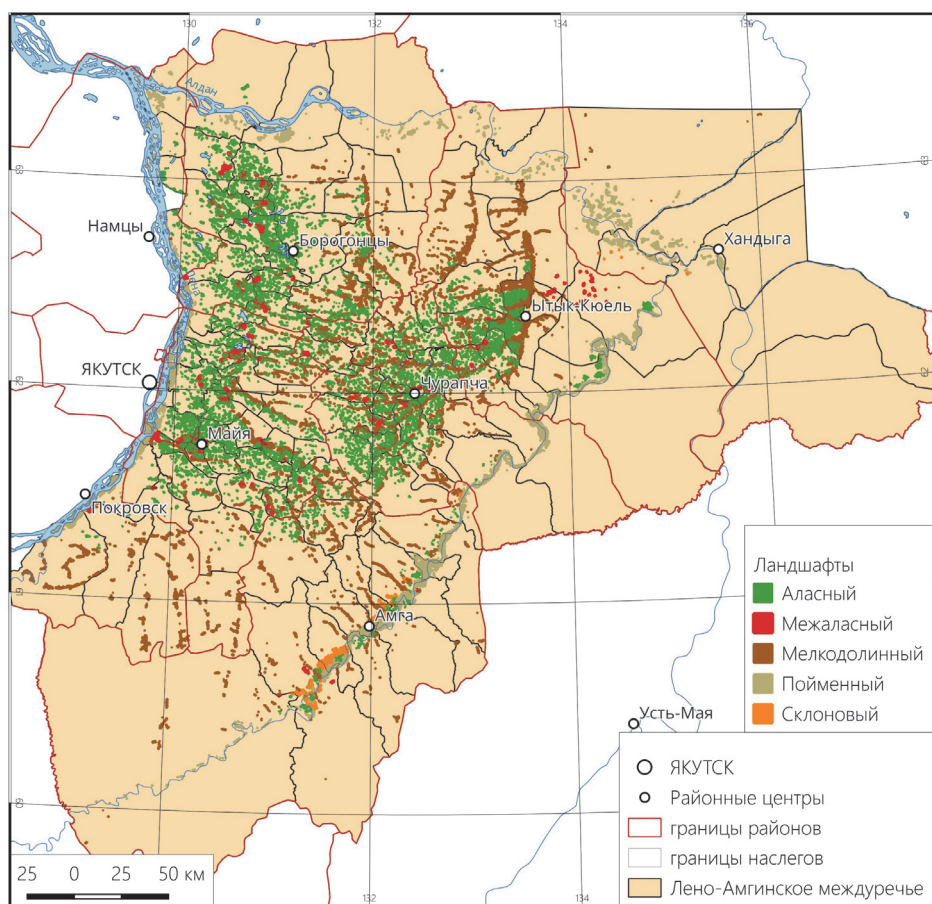


Рис. 1. Структура ландшафтов земель сельскохозяйственного назначения Лено-Амгинского междуречья

Таблица 1

Сравнение показателей теплообеспеченности по данным метеостанций и ERA5-Land

Метеостанции	Данные метеостанций				ERA5-Land			
	Количество дней		Сумма активных температур		Количество дней		Сумма активных температур	
	1961–1990	1991–2020	1961–1990	1991–2020	1961–1990	1991–2020	1961–1990	1991–2020
Якутск	155	163	1580	1744	154	160	1625	1726
Тегюльтя	154	158	1361	1566	151	157	1488	1614
Усть-Мая	159	170	1501	1679	158	160	1625	1769
Крест-Хальджай	156	158	1541	1654	154	157	1612	1748
Сегян-Кюель	147	152	1360	1508	142	146	1285	1452
Учур	166	169	1640	1763	159	167	1631	1784

Сельскохозяйственные ландшафты определены кадастровыми земельными участками из данных по категории земель сельскохозяйственного назначения. Всего векторизовано 20 262 полигональных участка, которые были разделены по основным типам ландшафтов: аласные, межаласные, мелкодолинные, пойменные и склоновые (см. рис. 1).

Материалы и методика

В качестве данных пространственных факторов пригодности для расчета LSI использованы следующие растровые источники: цифровая модель рельефа ALOS PALSAR для высоты, уклона и экспозиции склонов; данные климатического реанализа ERA5-Land за период современного климата 1991–2020 гг. Биопродукционные характеристики взяты с временных рядов медианных композитов NDVI по данным Landsat 8 и 9 за период 2015–2025 гг. и готовой классифицированной картой ландшафтного покрова ESA WorldCover. Все данные были приведены к единой системе координат UTM zone 52N (EPSG:32652) и к единой пространственной сетке с размером ячейки 30 м (рис. 2).

На исследуемой территории отсутствуют метеостанции, поэтому в качестве климатических показателей использовались сумма активных температур, гидротермический коэффициент и продолжительность периода со среднесуточной температурой выше 0 °C на основе непрерывных растровых покрытий. Применение данных реанализа ERA5-Land обусловлено необходимостью получения суточных пространственно непрерывных климатических полей для последующего расчета показателей и зонального анализа. Сопоставление данных реанализа ERA5-Land с метеорологическими наблюдениями в Центральной Якутии, которые расположены вблизи исследуемой территории (см. табл. 1), выявило систематические расхождения, усиливающиеся в горных районах.

Однако для равнинных условий Лено-Амгинского междуречья точность реанализа является приемлемой, и ввиду отсутствия альтернативных пространственно непрерывных источников суточных климатических данных ERA5-Land представляется доступным вариантом для оценки климатических параметров на исследуемой территории.

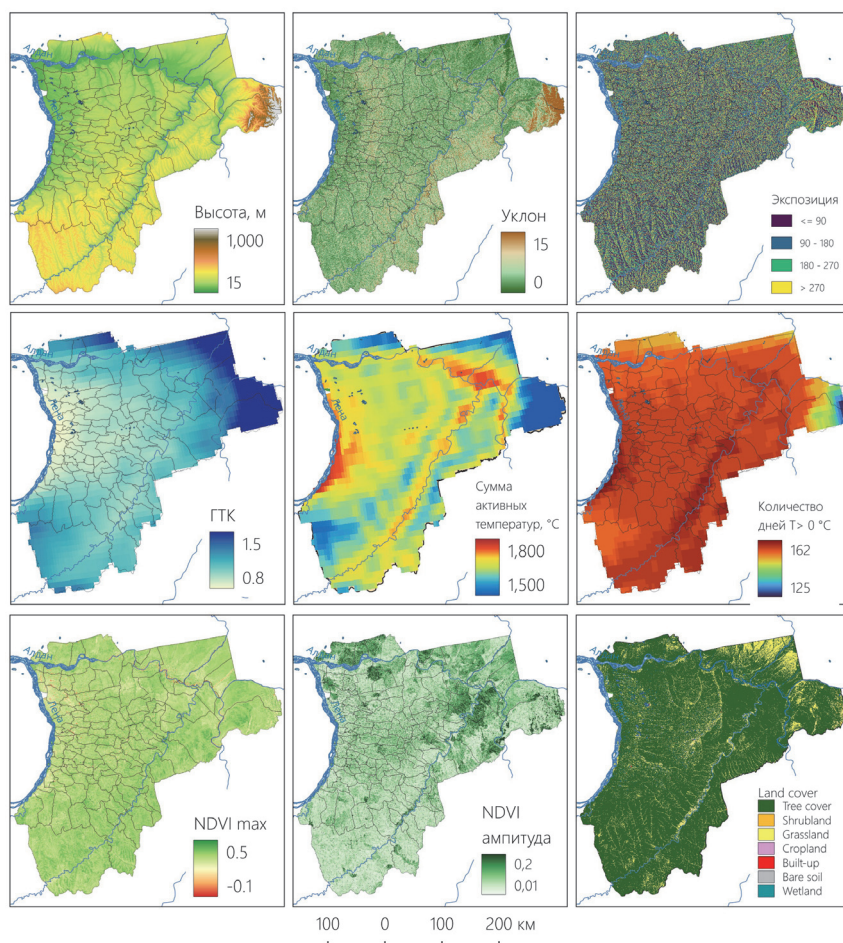


Рис. 2. Пространственные факторы, использованные для расчета LSI

Для определения вклада каждого фактора в интегральную оценку пригодности земель применен метод анализа иерархий [Saaty, 1980]. В отличие от мультипликативного подхода, где все факторы имеют равный вес, АНР позволяет задать экспертно обоснованные весовые коэффициенты на основе попарного сравнения факторов по шкале относительной важности от 1 (равная важность) до 9 (абсолютное превосходство). Для Лено-Амгинского междуречья построена иерархическая структура из девяти факторов, сгруппированных в четыре блока: биопродукционный (NDVI max, амплитуда NDVI), климатический (сумма активных температур $>10^{\circ}\text{C}$, гидротермический коэффициент Селянинова, продолжительность периода с температурой $>0^{\circ}\text{C}$), геоморфологический (высота, уклон, экспозиция) и ландшафтный (класс ландшафтного покрова ESA WorldCover). По результатам попарных сравнений рассчитаны локальные приоритеты (собственные векторы), нормализованные к единичной сумме. Коэффициент согласованности матрицы $CR = 0,059$ (5,9 %) не превышает допустимого порога 10 %, что подтверждает

ет логическую непротиворечивость экспертных оценок. После нормализации каждого фактора к безразмерной шкале 0–1 (где 1 соответствует наиболее благоприятному для земледелия значению) интегральный индекс пригодности LSI рассчитан как взвешенная сумма с полученными весами:

$$LSI = 100 \cdot (0,23 \cdot LC + 0,22 \cdot TS + 0,13 \cdot DAYS + 0,12 \cdot NDVI + 0,09 \cdot SLP + 0,07 \cdot GTK + 0,05 \cdot ELEV + 0,05 \cdot AMP + 0,04 \cdot ASP),$$

где LC – экспертная оценка класса ландшафтного покрова по ESA WorldCover (1,0 – пашня, 0,85 – травянистая растительность, 0,50 – водно-болотные угодья, 0,45 – разреженная растительность, 0,30 – кустарники, 0,00 – лес и непригодные классы); TS – сумма активных температур ($>10^{\circ}\text{C}$); DAYS – продолжительность периода с температурой выше 0°C ; NDVI – максимальное значение вегетационного индекса; SLP – уклон поверхности; GTK – гидротермический коэффициент Селянинова; ELEV – высота местности; AMP – амплитуда NDVI (межгодовая изменчивость, инверсия: чем ниже, тем лучше); ASP – экспозиция склонов (южные склоны = 1,0; остальные = 0,5).

Каждый фактор предварительно нормализован линейным масштабированием (TS – от 1400 до 1900 $^{\circ}\text{C}$, DAYS – от 120 до 150 дней, NDVI – от 0,20 до 0,40, SLP – от 10° до 2° с инверсией, GTK – 0,8–1,2, ELEV – от 400 до 70 м с инверсией, AMP – от 0,25 до 0,08 с инверсией, ASP – бинарная шкала). Веса отражают экспертную иерархию приоритетов и представлены в табл. 2.

Таблица 2

Весовые коэффициенты факторов для расчета LSI

Блок	Фактор		Вес
Ландшафтный покров	Класс ESA WorldCover	LC	0,23
Климатический	Сумма активных температур ($>10^{\circ}\text{C}$)	TS	0,22
Климатический	Период с температурой $>0^{\circ}\text{C}$	DAYS	0,13
Климатический	Гидротермический коэффициент (GTK)	GTK	0,07
Геоморфологический	Уклон	SLP	0,09
Геоморфологический	Высота	ELEV	0,05
Геоморфологический	Экспозиция склонов	ASP	0,04
Биопродукционный	NDVI max	NDVI	0,12
Биопродукционный	Амплитуда NDVI	AMP	0,05

Примечание. Амплитуда NDVI нормализована с инверсией: меньшие значения (стабильная продуктивность) соответствуют более высокому баллу; экспозиция склонов оценена бинарно: южные склоны (135° – 225°) – 1,0, все остальные – 0,5.

Расчет LSI выполнен для 20 262 кадастровых полигонов сельскохозяйственных земель Лено-Амгинского междуречья. Значения индекса переведены в шкалу 0–100 баллов и классифицированы по пяти категориям: I – высокопригодные (80–100), II – пригодные (60–80), III – ограниченно пригодные (40–60), IV – малопригодные (20–40), V – непригодные (0–20). Статистический анализ выполнен по количеству полигонов с последующей интерпретацией относительно типов агроландшафтов (пойменные, аласные, мелкодолинные, склоновые, межаласные) и классов ландшафтного покрова. Включение амплитуды NDVI позволяет учесть стабильность продуктивности земель во времени, а учет экспозиции склонов – дифференцировать микроклиматические условия в пределах участков.

Результаты

По результатам расчетов для 20 262 участков сельскохозяйственных земель Лено-Амгинского междуречья среднее значение индекса LSI составило 74,25 балла, медианное – 75,21 балла. Минимальное значение равно 32,62 балла, максимальное – 94,63 балла. Диапазон находится в пределах от 71,40 до 79,34 балла, что свидетельствует о концентрации значительной части участков в зоне пригодных и высокопригодных территорий. Полученные значения показывают, что большая часть кадастровых полигонов имеет достаточно высокий интегральный потенциал сельскохозяйственного использования. Наиболее высокие значения LSI (80–95 баллов) приурочены к пойменным комплексам крупных рек (Лена, Амга, Алдан) и к самым крупным аласным котловинам (Мюрю, Тюнгиюлю). Зоны со значениями LSI ниже среднего (40–60 баллов) локализованы в межаласных пространствах и на эрозионно-расчлененных участках. Участки с минимальными значениями LSI (32–40 баллов) единичны и приурочены к заболоченным понижениям и к территориям с высокой степенью термокарстовой нарушенности (рис. 3).

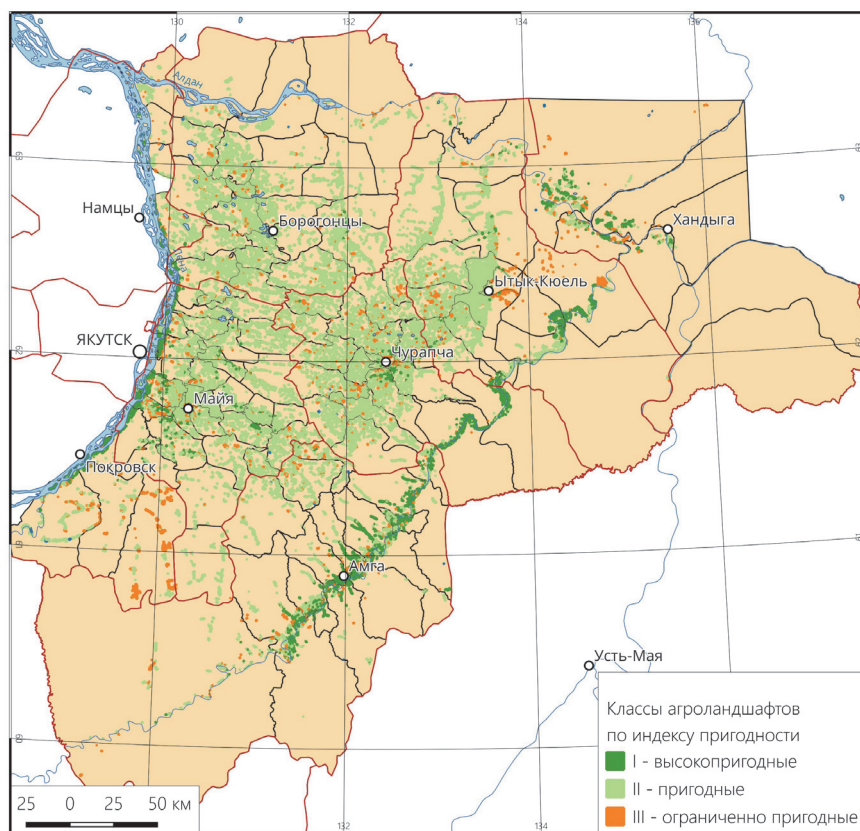


Рис. 3. Классы агроландшафтов Лено-Амгинского междуречья по индексу пригодности LSI

К высокопригодным территориям отнесено 4513 полигонов, или 22,27 %. Наиболее представительной является категория пригодных земель: 14 054 участка, или 69,36 %. Ограниченно пригодные участки составляют 8,22 %, малопригодные – только 0,14 %. непригодные земли среди участков не выявлены. Наиболее высокие значения индекса характерны для пойменных ландшафтов: средний LSI составляет 80,18 балла, медианный – 82,33 балла. Это свидетельствует о сочетании благоприятных морфометрических условий, относительно высокой биопродуктивности и высоких оценок по классу ландшафтного покрова. Эти территории характеризуются плоским рельефом с минимальными уклонами (менее 2°), наиболее продолжительным безморозным периодом и максимальной биопродуктивностью растительного покрова. Именно здесь расположены основные массивы пашни и наиболее продуктивные сенокосные угодья.

Пойменные ландшафты традиционно являются зоной наиболее интенсивного сельскохозяйственного освоения и сохраняют высокий агропотенциал при минимальных дополнительных затратах. Аласные ландшафты представлены наиболее широко: 10 тыс. участков, или 49,35 %. Их средний LSI равен 71,71 балла, что соответствует категории пригодных земель. Эти аласы, расположенные в Тюнгюлюнском, Суола-Тамминском и Притаттинском аласных мерзлотно-ландшафтных районах, имеют плоское дно, хорошо развитый травяной покров и многолетнюю историю сельскохозяйственного использования. Высокие значения LSI в крупных аласах обусловлены сочетанием благоприятного микроклимата, дренированностью днищ и высоким плодородием аласных почв. Вместе с тем внутри аласных комплексов сохраняется значительная неоднородность: наряду с высокопригодными участками встречаются ограниченно пригодные и отдельные малопригодные полигоны, что связано с мозаичностью рельефа, увлажнения, растительного покрова и проявлений криогенных процессов.

Мелкодолинные ландшафты имеют средний LSI 74,30 балла и в целом близки к среднему уровню по всему массиву. Склоновые территории представлены небольшим числом полигонов, однако их среднее значение LSI составляет 73,13 балла. Межаласные пространства имеют минимальный средний показатель среди основных типов агроландшафтов – 65,74 балла; доля ограниченно пригодных полигонов здесь значительно выше, чем в пойменных и аласных комплексах. Здесь расположены средние и мелкие аласы с округлой и вытянутой формой, а также долины малых рек (Суола, Тамма, Татта). Эти территории активно используются под сенокосы и пастбища, однако продуктивность их часто ниже потенциальной из-за локального переувлажнения, закустаривания и проявлений термокарста (табл. 3).

Таблица 3

Распределение классов пригодности внутри типов агроландшафтов

Тип агроландшафта	I	II	III	IV	V
Аласный	378	8868	738	15	0
Межаласный	47	313	255	0	0
Мелкодолинный	556	3441	303	10	0
Пойменный	3460	1367	334	4	0
Склоновый	72	65	36	0	0

Класс ландшафтного покрова (land cover) является одним из наиболее значимых компонентов итоговой оценки. Наиболее многочисленны полигоны, отнесенные к травянистой растительности: 18 174 участка, или 89,69 % валидного массива. Их средний LSI составляет 76,42 балла. Наиболее высокие средние значения LSI получены для участков, классифицированных как пашня или обрабатываемые земли: 82,22 балла. Наиболее низкие значения характерны для участков с древесным покровом и строк без значения класса ландшафтного покрова.

Наибольшая корреляция с итоговым индексом отмечена у нормированной оценки класса ландшафтного покрова ($r = 0,781$), NDVI max ($r = 0,518$), продолжительности периода с температурой выше 0°C ($r = 0,432$), суммы активных температур ($r = 0,383$) и уклона ($r = 0,381$). Эти связи подтверждают, что итоговая пригодность определяется совместным действием современного состояния растительного покрова, теплообеспеченности и морфометрических ограничений.

Обсуждение

Полученные результаты показывают, что индекс LSI позволяет достаточно детально дифференцировать агроландшафты Лено-Амгинского междуречья по потенциальной пригодности для сельскохозяйственного использования. Пространственное распределение LSI в целом соответствует ландшафтной структуре территории [Permafrost-Landscape ..., 2018] и результатам районирования аласности [Шестакова, Торговкин, 2023]. Наиболее высокие оценки получают пойменные комплексы и крупные аласные котловины Тюнгулюнского аласного района, где плотность аласов максимальна (более 1 аласа на км^2). Наиболее низкие оценки характерны для межаласных пространств и эрозионно-расчлененных территорий, где аласы либо отсутствуют, либо имеют небольшие размеры и вытянутую форму. Пространственная структура пригодности закономерно связана с типами агроландшафтов. Пойменные комплексы демонстрируют наиболее высокую интегральную оценку, что объясняется сочетанием продуктивного растительного покрова, относительно благоприятных морфометрических условий и фактической связи с сельскохозяйственным использованием. Аласные ландшафты обладают значительным потенциалом, однако их использование должно учитывать повышенную чувствительность к термокарсту, заболачиванию, локальному переувлажнению и деградации фитоценозов. Межаласные пространства требуют более осторожного подхода, поскольку именно здесь чаще фиксируются ограниченно пригодные участки. Установленная пространственная дифференциация LSI может служить основой для агроэкологического зонирования территории, планирования возврата залежных земель в оборот и оптимизации размещения сельскохозяйственных угодий.

Существенное влияние класса ландшафтного покрова на итоговый LSI указывает на значимость дистанционного зондирования при оценке современного состояния сельскохозяйственных ландшафтов. NDVI max отражает биопродукционный потенциал территории, а нормированные климатические

показатели позволяют учитывать различия в теплообеспеченности и продолжительности благоприятного периода. Сочетание этих факторов особенно важно для криолитозоны, где даже незначительные изменения количественных показателей микрорельефа и увлажнения почвы могут приводить к существенным различиям в продуктивности земель [Иванова, 2014].

Высокопригодные и пригодные участки могут рассматриваться как приоритетные для сельскохозяйственного использования, повышения интенсивности земледелия, сенокосения и проведения агротехнических мероприятий. Ограниченно пригодные участки требуют дополнительной полевой проверки, оценки почвенных условий, дренированности, степени зарастания кустарниками и подростом деревьев, транспортной доступности и затрат на вовлечение в оборот. Данное исследование характеризует общую агроэкологическую пригодность сельскохозяйственных ландшафтов, но не пригодность для возделывания отдельных культур. Для построения отдельных карт пригодности под яровую пшеницу, овес, картофель или кормовые травы и др. необходимо дополнительно задать специальные пороговые значения по теплообеспеченности, влагообеспеченности, почвенным условиям и агротехническим ограничениям для каждой культуры. Поэтому полученные классы LSI следует интерпретировать как базовую оценку потенциала территории и основу для последующей модификации индекса. К ограничениям расчетов также относятся по изучаемой территории отсутствие современных показаний по ряду почвенных характеристик, социально-экономических факторов и характеристики инфраструктурной доступности. В криолитозоне существенную роль могут играть мощность сезонноталого слоя, льдистость грунтов, степень термокарстовой нарушенности, дренированность, механический состав почв и фактическое агротехническое состояние земель. Эти параметры целесообразно включить в последующих расчетах LSI.

Заключение

Проведенная геоинформационная оценка пригодности сельскохозяйственных ландшафтов Лено-Амгинского междуречья на основе индекса LSI показала, что интеграция данных дистанционного зондирования, климатического реанализа, цифровой модели рельефа, классификации ландшафтного покрова и кадастровых материалов позволяет получить количественную характеристику агроэкологического потенциала территории. Наиболее благоприятные условия характерны для пойменных ландшафтов, где средний LSI достигает 80,18 балла, а доля высокопригодных участков является максимальной. Для таких территорий рекомендуется сохранение существующей структуры сельскохозяйственных угодий, особенно пашни, приоритетное проведение мелиоративных работ. Аласные и мелкодолинные ландшафты в целом относятся к пригодным территориям, но характеризуются внутренней неоднородностью. На данных территориях восстановление заброшенных земель в сельскохозяйственный оборот возможен относительно без крупных капиталовложений, целесообразно традиционное сенокосное и пастбищное использование с элементами поверхностного улучшения, но особенно важен

мониторинг термокарстовых просадок средствами получения информации от пользователей и с помощью аэрокосмического мониторинга по спутниковым снимкам. Межаласные пространства имеют более низкие значения LSI и большую долю ограниченно пригодных участков, что указывает на необходимость дополнительной агроэкологической и агроэкономической проверки перед их вовлечением в интенсивное сельскохозяйственное использование. Вовлечение таких агроландшафтов в сельскохозяйственный оборот экономически целесообразно только при субсидировании мелиорации. Часто рекомендуется сохранять для них традиционное экстенсивное аграрное использование, обычно под естественные кормовые угодья. На итоговую оценку пригодности наибольшее влияние оказывают современный класс ландшафтного покрова, показатели NDVI, продолжительность периода с положительными температурами, сумма активных температур, уклон и высота местности. Это подтверждает необходимость комплексного подхода к оценке земель Центральной Якутии, поскольку использованные показатели по отдельности не дают достаточного основания для управленческих решений. Такой подход при принятии решений по государственному вложению в сельскохозяйственное освоение еще не применяется в сельском хозяйстве Центральной Якутии.

Практическое значение результатов состоит в возможности использования карт и таблиц LSI для агроэкологического зонирования, оценки планирования возврата заброшенных земель в оборот, выбора участков для мелиоративных мероприятий и оптимизации структуры сельскохозяйственных угодий. Наиболее перспективным направлением дальнейшей работы является переход от количественной статистики по полигонам к площадной оценке земель, а также включение в модель почвенных, мерзлотных и социально-экономических факторов. В будущих исследованиях необходимо учитывать мощность сезонно-талого слоя, льдистость грунтов, температуру мерзлоты, степень термокарстовой нарушенности, дренированность, механический состав верхнего горизонта почвы, содержание гумуса, кислотность современное агротехническое состояние земель. Интеграция этих показателей позволит повысить точность модели и ее адекватность реальным условиям криолитозоны. Методическое ограничение исследования состоит в том, что расчеты выполнены по количеству кадастровых полигонов, а не по их суммарной площади. Это не снижает ценности полученной дифференциации, но требует осторожности при переводе результатов в управленческие решения. Следующий этап работы должен включать расчет площадей классов LSI, проверку модели по фактическим урожайным и хозяйственным данным, а также разработку отдельных модификаций индекса по основным культурам.

Список литературы

- Десяткин Р. В. Почвообразование в термокарстовых котловинах – аласах криолитозоны / отв. ред. Б. Ф. Апарин. Новосибирск : Наука, 2008. 323 с.
- Захаров М. И., Тананаев Н. И. Оценка будущих изменений климатических зон Кеппена-Гейгера в Якутии с использованием регионально-адаптированного ансамбля климатических моделей СМIP6 // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2025. Т. 31, ч. 1. С. 431–444. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2025-1-31-431-444>

Иванов Д. А. Применение геостатистических методов при разработке ландшафтно-адаптивного землепользования // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019. № 4. С. 351–367.

Иванова Л. С. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Лено-Амгинского междуречья: проект / РАСХН. Сиб. отд.-ние. Якут. НИИСХ. Новосибирск, 2004. 132 с.

Иванова Л. С., Корякина Р. Н., Адамова А. С. Агроэкологическая группировка земель долин рек в среднетаежной подзоне Якутии // *Земледелие*. 2014. № 1. С. 14–15.

Коновалова Т. И., Бессолицына Е. П. Устойчивость и направления антропогенных преобразований геосистем южной части Средней Сибири // *Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле*. 2011. Т. 4, № 2. С. 120–137.

Лысанова Г. И. Природные и аграрные ландшафты юга Енисейской Сибири // *Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле*. 2020. Т. 33. С. 88–99. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.33.88>

Семенов Ю. М., Лысанова Г. И. Картографирование геосистем гор юга Сибири // *Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле*. 2018. Т. 23. С. 97–105. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.23.97>

Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск : Наука, 1978. 320 с.

Шестакова А. А., Торговкин Я. И. Распространение аласов Лено-Амгинского междуречья // *Геоинформатика*. 2023. № 2. С. 17–25. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-2-17-25>

Exploring Landscape Suitability of Land-Use Change – A Geospatial Approach to Assess Benefits for Society and Nature / M. V. Odgaard, T. Kristensen, T. Dalgaard, S. V. Iversen // *Land*. 2025. Vol. 14, N 12. P. 2426. <https://doi.org/10.3390/land14122426>

Adrian W., Munibah K., Firmansyah I. Evaluate land suitability analysis for rice cultivation using a GIS-based AHP multi-criteria decision-making approach: Majalengka Regency, West Java Province // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 1109. P. 012062.

Akinci H., Ozalp A. Y., Turgut B. Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2013. Vol. 97. P. 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.006>

Alas Landscape Modeling by Remote Sensing Image Analysis and Geographic Ontology: Study Case of Central Yakutia (Russia) / S. Gadal, M. Zakharov, J. Kamičaitytė, Y. Danilov // *Proceedings of the 6th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management (GISTAM 2020)*. 2020. P. 112–118. <https://dx.doi.org/10.5220/0009569101120118>

Dedeoglu M., Dengiz O. Generating of land suitability index for wheat with hybrid system approach using AHP and GIS // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol. 167. P. 105062. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105062>

Digital Mapping of Land Suitability for Main Agricultural Crops in Romania / C. V. Patriche, B. Rosca, R. G. Pirnau [et al.] // *Agronomy*. 2024. Vol. 14, N 12. P. 2828. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122828>

Geospatial evaluation of the agricultural suitability and land use compatibility in Europe's temperate continental climate region / A. Dornik, M. A. Chetan, T. E. Crisan [et al.] // *International Soil and Water Conservation Research*. 2024. Vol. 12. P. 908–919. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2024.01.002>

Influence of Permafrost Landscapes Degradation on Livelihoods of Sakha Republic (Yakutia) Rural Communities / V. Lytkin, A. Suleymanov L. Vinokurova [et al.] // *Land*. 2021. Vol. 10. P. 101. <https://doi.org/10.3390/land10020101>

Mapping Grassland Suitability Through GIS and AHP for Sustainable Management: A Case Study of Hunedoara County, Romania / L. L. Cojocariu., N. M. Horablaga, C. A. Popescu [et al.] // *Sustainability*. 2026. Vol. 18. P. 1155. <https://doi.org/10.3390/su18031155>

Mokarram M., Mirsoleimani A. Using Fuzzy-AHP and order weight average (OWA) methods for land suitability determination for citrus cultivation in ArcGIS (Case study: Fars province, Iran) // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2018. Vol. 508. P. 506–518. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.05.062>

Monitoring Long-Term Land Cover Change in Central Yakutia Using Sparse Time Series Landsat Data / Y. Lee, S.-Y. Kim, Y.T. Jung, S.-E. Park // *Remote Sensing*. 2024. Vol. 16. P. 1868. <https://doi.org/10.3390/rs16111868>

Permafrost-Landscape Map of the Republic of Sakha (Yakutia) on a Scale 1:1,500,000 / A. N. Fedorov, N. F. Vasilyev, Y. I. Torgovkin [et al.] // *Geosciences*. 2018. Vol. 8. P. 465. <https://doi.org/10.3390/geosciences8120465>

Recent dynamics of hydro-ecosystems in thermokarst depressions in Central Siberia from satellite and in situ observations: Importance for agriculture and human life / E. A. Zakharova, A. V. Kouraev, V. Stephane [et al.] // *Science of The Total Environment*. 2018. Vol. 615. P. 1290–1304. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.059>

Saaty T.L. *The Analytic Hierarchy Process*. New York : McGraw-Hill, 1980. 281 p.

Thermokarst Landscape Development Detected by Multiple-Geospatial Data in Churapcha, Eastern Siberia / Y. Iijima, T. Abe, H. Saito [et al.] // *Frontiers in Earth Science*. 2021. Vol. 9. P. 750298. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.750298>

References

Desyatkin R.V. *Pochvoobrazovanie v termokarstovykh kotlovinnakh – alasakh kriolitozony* [Soil Formation in Thermokarst Depressions – Alases of the Cryolithozone]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2008, 323 p. (in Russian)

Zakharov M.I., Tananaev N.I. Assessing future changes of Köppen-Geiger climate zones in Yakutia using CMIP6 regional ensemble. *InterCarto. InterGIS*, 2025, vol. 31, part 1, pp. 431-444. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2025-1-31-431-444> (in Russian)

Ivanov D.A. *Primenenie geostatisticheskikh metodov pri razrabotke landshaftno-adaptivnogo zemlepolzovaniya* [Application of geostatistical methods in the development of landscape-adaptive land use]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2019, no. 4, pp. 351-367. (in Russian)

Ivanova L.S. *Adaptivno-landshaftnye sistemy zemledeliya Leno-Amginskogo mezhdurech'ya: proekt* [Adaptive Landscape Farming Systems of the Lena-Amganga Interfluve]. Novosibirsk, SB RAS, Yakutsk Agricultural Research Institute, 2004, 132 p. (in Russian)

Ivanova L.S., Koryakina R.N., Adamova A.S. Agroekologicheskaya gruppirovka zemel dolin rek v srednetayozhnoy podzone Yakutii [Agroecological grouping of river valley lands in the middle taiga subzone of Yakutia]. *Zemledelie*, 2014, no. 1, pp. 14–15. (in Russian)

Konovalova T.I., Bessolitsyna E.P. Ustoychivost i napravleniya antropogennykh preobrazovaniy geosistem yuzhnoy chasti Sredney Sibiri [Stability and directions of anthropogenic transformations of geosystems in the southern part of Central Siberia]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2011, vol. 4, no. 2, pp. 120–137. (in Russian)

Lysanova G.I. Prirodnye i agrarnye landshafty yuga Eniseyskoy Sibiri [Natural and agrarian landscapes of the southern Yenisei Siberia]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2020, vol. 33, pp. 88-99. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.33.88> (in Russian)

Semenov Yu.M., Lysanova G.I. Kartografirovaniye geosistem gor yuga Sibiri [Mapping of geosystems of the southern Siberian mountains]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2018, vol. 23, pp. 97-105. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.23.97> (in Russian)

Sochava V.B. *Vvedenie v uchenie o geosistemakh* [Introduction to the Theory of Geosystems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1978, 320 p. (in Russian)

Shestakova A.A., Torgovkin Ya.I. Rasprostraneniye alasov Leno-Amginskogo mezhdurech'ya [Distribution of alases in the Lena-Amga interfluve]. *Geoinformatika*, 2023, no. 2, pp. 17-25. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-2-17-25> (in Russian)

Odgaard M.V., Kristensen T., Dalgaard T., Iversen S.V. Exploring Landscape Suitability of Land-Use Change – A Geospatial Approach to Assess Benefits for Society and Nature. *Land*, 2025, vol. 14, no. 12, pp. 2426. <https://doi.org/10.3390/land14122426>

Adrian W., Munibah K., Firmansyah I. Evaluate land suitability analysis for rice cultivation using a GIS-based AHP multi-criteria decision-making approach: Majalengka Regency, West Java Province, no. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 1109. P. 012062.

Akinci H., Ozalp A.Y., Turgut B. Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique, no. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2013, vol. 97, pp. 71-82. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.006>

Gadal S., Zakharov M., Kamičaitytė J., Danilov Y. Alas Landscape Modeling by Remote Sensing Image Analysis and Geographic Ontology: Study Case of Central Yakutia (Russia), no. *Proceedings of the 6th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management (GISTAM 2020)*, 2020, pp. 112-118. <https://dx.doi.org/10.5220/0009569101120118>

Dedeoglu M., Dengiz O. Generating of land suitability index for wheat with hybrid system approach using AHP and GIS, no. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019, vol. 167, pp. 105062. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105062>

Patriche C.V., Rosca B., Pirnau R.G., Vasiliniuc I., Irimia L.M. Digital Mapping of Land Suitability for Main Agricultural Crops in Romania, no. *Agronomy*, 2024, vol. 14, no. 12, pp. 2828. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122828>

Dornik A., Chetan M.A., Crisan T.E., Heciko R., Gora A., Dragut L., Panagos P. Geospatial evaluation of the agricultural suitability and land use compatibility in Europe's temperate continental climate region, no. *International Soil and Water Conservation Research*, 2024, vol. 12, pp. 908-919. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2024.01.002>

Lytkin V., Suleymanov A., Vinokurova L., Grigorev S., Golomareva V., Fedorov S., Kuzmina A., Syromyatnikov I. Influence of Permafrost Landscapes Degradation on Livelihoods of Sakha Republic (Yakutia) Rural Communities, no. *Land*, 2021, vol. 10, pp. 101. <https://doi.org/10.3390/land10020101>

Cojocariu L.L., Horablaga N.M., Popescu C.A., Horablaga A., Bella-Sfircoci M., Copăcean L. Mapping Grassland Suitability Through GIS and AHP for Sustainable Management: A Case Study of Hunedoara County, Romania, no. *Sustainability*, 2026, vol. 18, pp. 1155. <https://doi.org/10.3390/su18031155>

Mokarram M., Mirsoleimani A. Using Fuzzy-AHP and order weight average (OWA) methods for land suitability determination for citrus cultivation in ArcGIS (Case study: Fars province, Iran), no. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2018, vol. 508, pp. 506-518. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.05.062>

Lee Y., Kim S.-Y., Jung Y.T., Park S.-E. Monitoring Long-Term Land Cover Change in Central Yakutia Using Sparse Time Series Landsat Data, no. *Remote Sensing*, 2024, vol. 16, pp. 1868. <https://doi.org/10.3390/rs16111868>

Fedorov A.N., Vasilyev N.F., Torgovkin Y.I., Shestakova A.A., Varlamov S.P., Zheleznyak M.N., Shepelev V.V., Konstantinov P.Y., Kalinicheva S.S., Basharin N.I. et al. Permafrost-Landscape Map of the Republic of Sakha (Yakutia) on a Scale 1:1,500,000, no. *Geosciences*, 2018, vol. 8, pp. 465. <https://doi.org/10.3390/geosciences8120465>

Zakharova E.A., Kouraev A.V., Stephane V., Franck G., Desyatkin R.V., Desyatkin A.R. Recent dynamics of hydro-ecosystems in thermokarst depressions in Central Siberia from satellite and in situ observations: Importance for agriculture and human life. *Science of The Total Environment*, 2018, vol. 615, pp. 1290-1304. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.059>

Saaty T.L. *The Analytic Hierarchy Process*. New York, McGraw-Hill, 1980. 281 p.

Iijima Y., Abe T., Saito H., Ulrich M., Fedorov A.N., Basharin N.I., Gorokhov A.N., Makarov V.S. Thermokarst Landscape Development Detected by Multiple-Geospatial Data in Churapcha, Eastern Siberia. *Frontiers in Earth Science*, 2021, vol. 9, pp. 750298. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.750298>

Сведения об авторах

Захаров Моисей Иванович

кандидат географических наук, доцент
Северо-Восточный федеральный
университет им. М. К. Аммосова
Россия, 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58
e-mail: mplusz@inbox.ru

Information about the authors

Zakharov Moisei Ivanovich

Candidate of Sciences (Geography),
Associate Professor
M. K. Ammosov North-Eastern Federal
University
50, Belinsky st., Yakutsk, 677000,
Russian Federation
e-mail: mplusz@inbox.ru

Халдеев Айдын Васильевич*аспирант**Северо-Восточный федеральный
университет им. М. К. Аммосова
Россия, 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58
e-mail: a.v.haldeev@syfu.ru***Khaldeev Aidyn Vasilievich***Postgraduate**M. K. Ammosov North-Eastern Federal
University,
50, Belinsky st., Yakutsk, 677000,
Russian Federation
e-mail: a.v.haldeev@syfu.ru***Черосов Михаил Михайлович***доктор биологических наук, директор,
Якутское НИИ сельского хозяйства
Федерального исследовательского центра
«Якутский научный центр СО РАН»
Россия, 677001, г. Якутск, ул. Бестужева-
Марлинского, 23/1
e-mail: agronii@mail.ru***Cherosov Mikhail Mikhailovich***Doctor of Sciences (Biology), Director
Yakutsk Research Institute of Agriculture FRC
YSC SB RAS
23/1, Bestuzhev-Marlinsky st., Yakutsk, 677001,
Russian Federation
e-mail: agronii@mail.ru*

Код научной специальности: 1.6.12

Статья поступила в редакцию 14.05.2026; одобрена после рецензирования 29.08.2026, принята к публикации 14.09.2026
The article was submitted May, 14, 2026; approved after reviewing August, 29, 2026; accepted for publication September, 14, 2026