

Н.К.Унышева\*<sup>1</sup>, С.К.Макенова<sup>1</sup>, Л.Т.Бабкенова<sup>2</sup>, Р.К.Абельдина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина,  
г. Астана, Республика Казахстан, [nurlygul\\_kosherbayevna@mail.ru](mailto:nurlygul_kosherbayevna@mail.ru),  
[saule\\_makenova@mail.ru](mailto:saule_makenova@mail.ru), [rauza-k12@mail.ru](mailto:rauza-k12@mail.ru)

<sup>2</sup>Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Российская Федерация, [babkenl@yandex.ru](mailto:babkenl@yandex.ru)

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАХОТНОПРИГОДНЫХ ЗЕМЕЛЬ

### Аннотация

В условиях нарастающего давления на сельскохозяйственные угодья и снижения плодородия почв рациональное использование пахотнопригодных земель становится приоритетным направлением аграрной политики. Целью исследования является разработка геоинформационной модели оценки пригодности земель для пашенного использования в пределах Есильского района Акмолинской области. В качестве исходных данных использовались спутниковые снимки Landsat-8, цифровая модель рельефа (SRTM), климатические параметры (CRU) и почвенные характеристики HWSD. Методология включала применение иерархического анализа (АИР), агроэкологического районирования и классификацию земель по шкале ФАО. В результате установлено, что 82 % территории района относятся к категории умеренно пригодных (S2), 15 % — низко пригодных (S3), а 3 % — непригодных (N). Высоко пригодных (S1) земель не выявлено. Карта интегральной пригодности отражает пространственное распределение агроэкономически перспективных участков. Практическая значимость исследования заключается в формировании научно обоснованной основы для принятия решений в сфере рационального землепользования, субсидирования и оценки рентабельности освоения неиспользуемых земель. Полученная геоинформационная модель может быть использована как инструмент поддержки принятия решений при планировании сельскохозяйственного производства, проведении мелиоративных мероприятий, а также адаптирована для применения в других аграрных регионах Казахстана.

**Ключевые слова:** пахотнопригодные земли, ГИС, метод аналитической иерархии, дистанционное зондирование, рациональное землепользование, цифровая модель рельефа

### Введение

С ростом численности населения и усиливающимся дефицитом продовольствия вопрос рационального использования продуктивных земельных ресурсов становится все более актуальным. В условиях сокращения доступных для освоения пахотных земель и деградации существующих сельскохозяйственных угодий особое внимание уделяется сохранению наиболее плодородных территорий.

Пахотнопригодные земли, представляющие собой территориально ограниченный и уязвимый ресурс, требуют научно обоснованного подхода к их вовлечению в сельскохозяйственный оборот. Современные подходы к классификации и оценке пригодности земель всё чаще основаны на использовании геоинформационных технологий (ГИС), дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и методов многокритериального анализа. Применение этих инструментов позволяет комплексно учитывать природные, агротехнические и социально-экономические характеристики территорий, тем самым обеспечивая обоснованную дифференциацию земель по уровню их продуктивности и степени пригодности для сельскохозяйственного использования. Такой интегративный подход

способствует снижению рисков нерационального освоения ресурсов и повышает эффективность планирования землепользования [1, 2].

В условиях Северного Казахстана, характеризующегося чернозёмно-каштановым почвенным покровом, умеренно-континентальным климатом и значительными пространственными различиями в увлажнении, актуальной задачей становится интеграция ГИС-технологий с агроэкологическими и экономическими критериями оценки [3,15]. Такая интеграция позволяет не только выделить приоритетные зоны для землепользования, но и оценить потенциальную рентабельность вовлечения в оборот ранее неиспользуемых или малоэффективных участков

Исследования последних лет подтверждают высокую эффективность применения цифровых методов для пространственного моделирования пригодности земель. Например, использование алгоритма взвешенного наложения (Weighted Overlay Analysis) [5] и метода анализа иерархий (АНР) [6,7] обеспечивает возможность учёта различных факторов — уклона, текстуры почвы, кислотности, содержания гумуса. При этом данные дистанционного зондирования, полученные со спутников Sentinel-2 и Landsat-8, позволяют выявлять текущее состояние растительного покрова, продуктивность и динамику изменений [8]. Дистанционное зондирование позволяет получить актуальную и точную картину состояния сельскохозяйственного сектора, поскольку оно очень удобно для сбора информации на больших территориях с высокой частотой и регулярностью. Полученная информация используется для качественного и количественного анализа в рамках прогнозов производства в режиме, близком к реальному времени, а также для прогнозирования проблем продовольственной безопасности в рамках мониторинга сельского хозяйства [7].

Целью настоящего исследования является разработка и апробация геоинформационной модели оценки пригодности пахотнопригодных земель Есильского района, с последующей оценкой экономической эффективности их вовлечения в сельскохозяйственный оборот. Для достижения поставленной цели была реализована комплексная методология, включающая в себя агроэкологическое районирование, классификацию земель по шкале FAO (1983). Практическая значимость работы заключается в разработке прикладного инструмента поддержки принятия решений в сфере рационального землепользования, а также в формировании научной базы для планирования субсидий, мелиоративных мероприятий и инвестиционной политики в аграрном секторе Северного Казахстана.

#### **Материалы и методы**

В исследовании использован комплексный подход, включающий методы дистанционного зондирования, геоинформационного анализа, агроэкологического районирования и многокритериальной оценки пригодности земель [9]. Пространственные и табличные данные обрабатывались с применением программных комплексов ArcGIS 10.4.

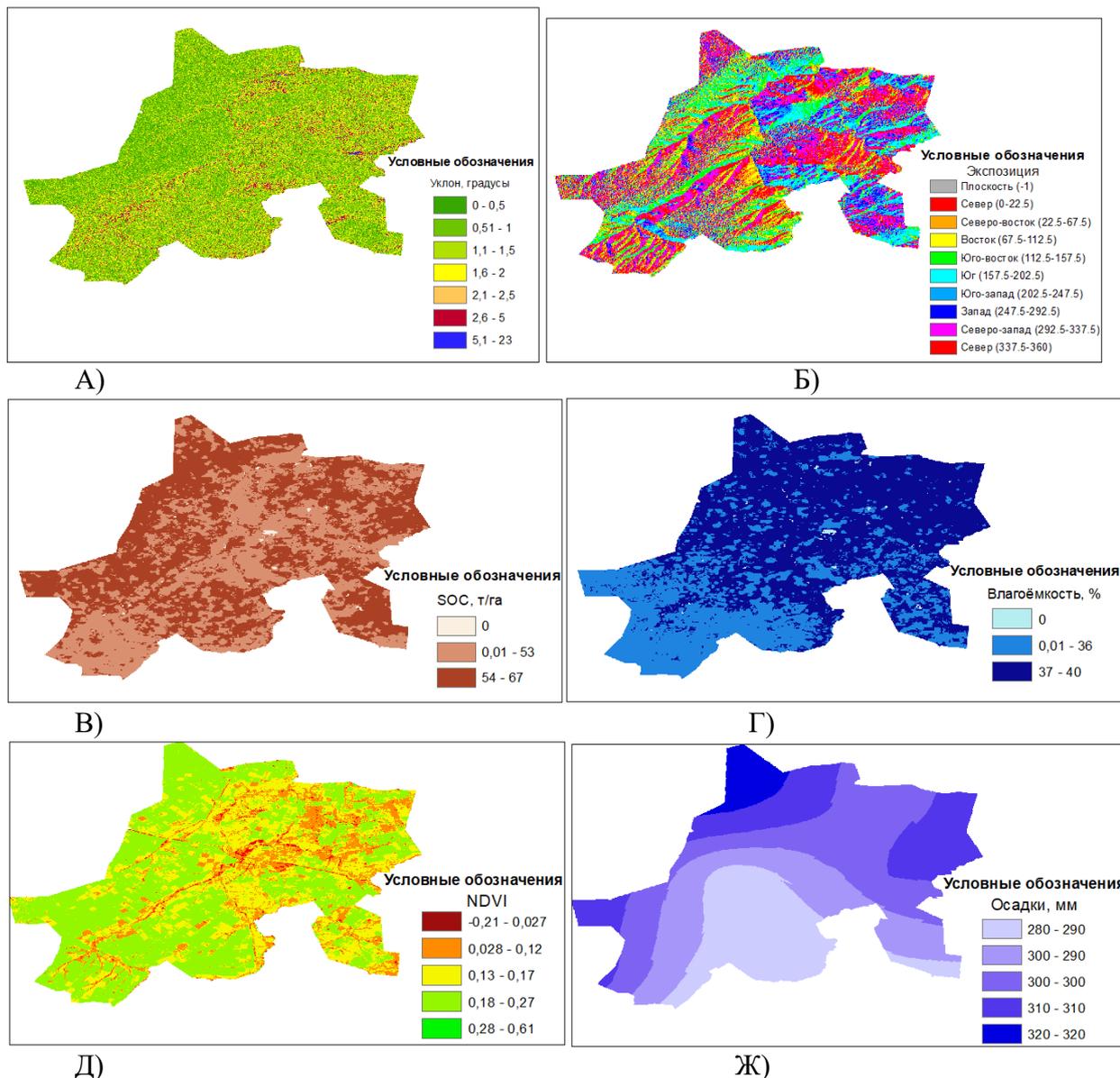
Исходные данные включали спутниковые снимки Landsat-8 и цифровую модель рельефа SRTM с разрешением 30 м [10]. Для оценки агроэкологической пригодности земель применялась методология FAO — *Framework for Land Evaluation* [2]. Дополнительно, для определения пригодности земель к пахотному использованию использовались почвенные данные, полученные из международной гармонизированной базы FAO/ISRIC — HWSD [11]. Данный источник предоставляет унифицированные почвенные характеристики на глобальном уровне, что обеспечивает сопоставимость данных при пространственном анализе земельных ресурсов. В рамках настоящего исследования были проанализированы ключевые почвенные параметры: тип почвы, гранулометрический состав (текстура), уровень кислотности (pH), содержание общего азота (N), а также соотношение углерода и азота (C/N). Эти показатели являются важными критериями при оценке потенциальной продуктивности земель и их пригодности к возделыванию сельскохозяйственных культур.

Для интеграции разнородных факторов и построения финальной карты пригодности использовался метод взвешенного наложения критериев в среде ArcGIS Spatial Analyst [1]. Весовые коэффициенты определялись методом парных сравнений АНР [6], с последующей экспертной корректировкой, учитывающей региональные особенности.

**Результаты и обсуждение**

Результаты пространственного анализа, проведённого с использованием инструментов ГИС и данных дистанционного зондирования, представлены в виде тематических карт. Визуализация и интерпретация карт позволяют комплексно оценить условия, влияющие на продуктивность и пригодность земель к сельскохозяйственному использованию.

Полученные картографические материалы охватывают параметры, такие как распределение осадков, значения вегетационного индекса NDVI, рельеф (уклоны), почвенные свойства и интегральные показатели пригодности. Их сопоставление обеспечивает обоснованную оценку текущего состояния землепользования и выявление территорий с различным потенциалом сельскохозяйственного освоения (рисунок 1).



**Рисунок 1 - Факторы, используемые при оценке пахотнопригодных земель**

А. На основании обработки цифровой модели рельефа (ЦМР) была получена тематическая карта пространственного распределения уклонов поверхности, где уклоны классифицированы по шести интервалам градаций — от почти горизонтальных участков (менее 0.5°) до крутых склонов (свыше 5°) [12]. Значительная часть исследуемой территории (свыше 70%) отличается минимальными уклонами, не превышающими 1.5°. Эти участки характеризуются выровненным и слабоволнистым микрорельефом, что создаёт

благоприятные условия для механизированной обработки почвы и возделывания сельскохозяйственных культур. Наибольшую площадь занимают зоны с уклоном от 0 до 1°, которые в агроэкологическом отношении являются наилучшим вариантом для организации пашни. Такие участки обеспечивают равномерное распределение влаги и сниженную подверженность водной эрозии, особенно при соблюдении оптимального севооборота и минимальной обработки почвы.

Склоны умеренной крутизны (в пределах 2.1–5°), преимущественно локализованные в юго-восточной и центральной частях района, имеют ограниченный потенциал для пашенного использования. Для сохранения плодородия на этих участках рекомендуется внедрение почвозащитных технологий — таких как контурное земледелие, чередование культур в зависимости от склонов, а также частичное озеленение.

Наиболее крутые участки с уклонами, превышающими 5°, встречаются эпизодически. Эти земли относятся к категории эрозионно-опасных и непригодны для возделывания культурных растений.

Б. Анализ экспозиции склонов показал значительное преобладание участков с северной, северо-восточной и восточной ориентацией. Данные направления склонов в условиях умеренно-континентального климата способствуют сохранению почвенной влаги и снижению температурного стресса, что положительно сказывается на потенциальной продуктивности земель. Южные и юго-западные склоны встречаются реже, они характеризуются более высокой инсоляцией и, как следствие, ускоренным иссушением почвы, что может ограничивать их использование в качестве пашни без дополнительных агротехнических мероприятий.

В. Анализ пространственного распределения почвенной влаги показал, что основная часть территории характеризуется влажностью до 36%, что соответствует удовлетворительным и близким к оптимальным условиям для большинства сельскохозяйственных культур, приближаясь к значению влагоёмкости почвы (field capacity, FC), достигаемой при водном потенциале –33 кПа. Участки с содержанием влаги в пределах 36–39% оцениваются как хорошо обеспеченные влагой и пригодные для выращивания большинства культур, а зоны с превышением 39% относятся к наивысшей категории — "очень хорошая водоудерживающая способность", что указывает на высокую аграрную потенцию данных почв. Однако на таких участках возможен риск временного переувлажнения. В противоположность этому, зоны с наименьшими показателями влажности требуют внедрения мелиоративных мероприятий и влагосберегающих технологий для стабилизации продуктивности и повышения агроэкологической устойчивости землепользования.

Г. Пространственное распределение органического углерода в почвах (SOC) свидетельствует о том, что основная часть территории обладает показателями от 0,01 до 53 т/га, с локальными участками, где значения превышают 54 т/га. Повышенное содержание SOC является индикатором высокого уровня почвенного плодородия и благоприятных условий для сельскохозяйственного использования. Напротив, зоны с низкими значениями органического углерода требуют внесения органических удобрений и соблюдения севооборота для восстановления почвенного баланса.

Д. NDVI-оценка позволяет выделить участки с различной степенью растительности, отражающей состояние биомассы и продуктивности земель. На основе обработки спутникового снимка Landsat 8 за период с 14 по 22 июня 2023 года была построена пространственная карта распределения значений NDVI (нормализованный относительный вегетационный индекс) по территории исследования.

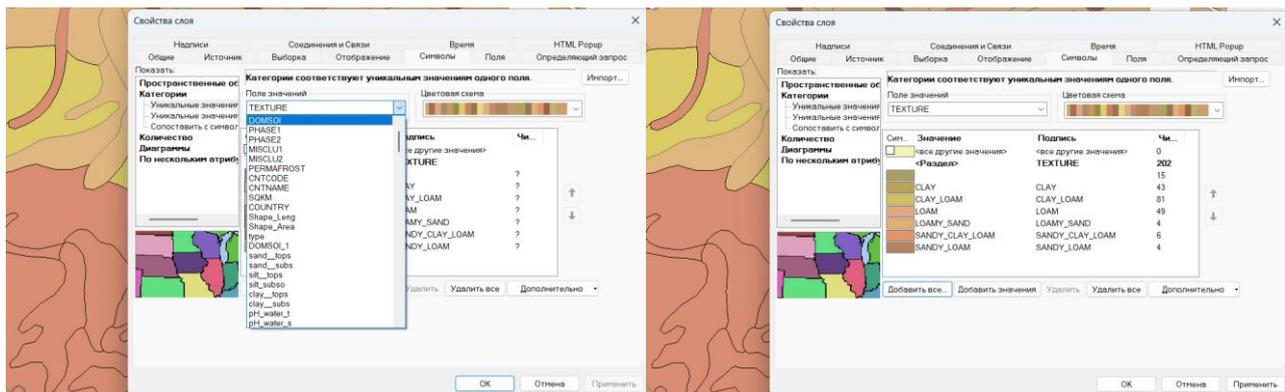
Результаты анализа NDVI выявили выраженную пространственную неоднородность вегетационного покрова. Основная доля территории характеризуется индексом в диапазоне от 0,19 до 0,24, что соответствует участкам со средней биомассой и указывает на наличие сельскохозяйственных культур в фазе активного роста. Зоны с низкими значениями NDVI (0,01–0,14), отображённые на карте оранжевым и красным цветом, сосредоточены преимущественно вблизи транспортной инфраструктуры, населённых пунктов и на участках

с признаками деградации или вторичного зарастания, что свидетельствует об их ограниченной пригодности к пашенному использованию. В то же время, фрагментарно встречаются территории с высокими значениями NDVI (от 0,29 и выше), демонстрирующие высокую степень развития растительного покрова и потенциально высокую агрономическую ценность.

Ж. В результате обработки климатических данных об осадках [16] в среде ArcGIS была построена карта пространственного распределения годовой суммы атмосферных осадков по территории исследования. На основе данной карты установлена чётко выраженная зональность увлажнения, отражающая региональные различия в обеспеченности влагой. Количество осадков варьирует от 280 до 320 мм в год, что свидетельствует о преобладании умеренно засушливых климатических условий.

Распределение осадков оказывает существенное влияние на агроклиматическую пригодность земель и должно учитываться при определении сельскохозяйственной специализации, выборе культур, а также в процессе пространственного моделирования продуктивности и устойчивости землепользования. Полученные данные служат важной основой для зонирования территории и обоснования мероприятий по адаптации к изменяющимся климатическим условиям.

В Есильском районе по данным HWSO (рисунок 2) преобладают почвы, относящиеся к типам Ch (Chernozem – чернозёмы) и Kh (Kastanozems – каштановые почвы). Данные почвы характеризуются высоким потенциалом плодородия, устойчивостью к деградационным процессам при соблюдении соответствующих агротехнических условий и являются базовыми в структуре землепользования региона.



FID	Shape *	FAOSOIL	DOMSOI	SQKM	COUNTRY	sand	to	silt	tops	clay	top	pH	water	N	topsoil	CaCO3	TEXTURE
24	Полигон	Sm12-3a	Sm	31	KAZAKHSTAN	51,7	31,9	16,4	7,6	0,15	4,2	CLAY LOAM					
25	Полигон	C18-3a	Cl	1156	KAZAKHSTAN	46,3	24,9	28,8	7,1	0,12	3	CLAY LOAM					
26	Полигон	C1-3a	C	140	KAZAKHSTAN	42,9	27,6	29,5	7,3	0,18	4,8	CLAY					
29	Полигон	Sm14-3a	Sm	1535	KAZAKHSTAN	51,7	31,9	16,4	7,6	0,15	4,2	CLAY LOAM					
30	Полигон	Ch17-3a	Ch	20670	KAZAKHSTAN	32,2	44,1	23,7	7,1	0,26	0,1	CLAY LOAM					
32	Полигон	Ch14-3a	Ch	48713	KAZAKHSTAN	32,2	44,1	23,7	7,1	0,26	0,1	CLAY LOAM					
33	Полигон	C1-3a	C	3	KAZAKHSTAN	42,9	27,6	29,5	7,3	0,18	4,8	CLAY					
36	Полигон	C1-3a	C	25	KAZAKHSTAN	42,9	27,6	29,5	7,3	0,18	4,8	CLAY					
39	Полигон	C1-3a	C	182	KAZAKHSTAN	42,9	27,6	29,5	7,3	0,18	4,8	CLAY					
41	Полигон	C1-3a	C	8	KAZAKHSTAN	42,9	27,6	29,5	7,3	0,18	4,8	CLAY					
42	Полигон	C1-3a	C	8	KAZAKHSTAN	42,9	27,6	29,5	7,3	0,18	4,8	CLAY					
45	Полигон	Sm12-3a	Sm	909	KAZAKHSTAN	51,7	31,9	16,4	7,6	0,15	4,2	CLAY LOAM					
47	Полигон	Sm12-3a	Sm	147	KAZAKHSTAN	51,7	31,9	16,4	7,6	0,15	4,2	CLAY LOAM					
49	Полигон	Ck1-3a	Ck	423	KAZAKHSTAN	41,6	26,6	31,8	7,5	0,18	8,1	CLAY					
50	Полигон	C1-3a	C	7	KAZAKHSTAN	42,9	27,6	29,5	7,3	0,18	4,8	CLAY					
53	Полигон	Ch16-3a	Ch	592	KAZAKHSTAN	32,2	44,1	23,7	7,1	0,26	0,1	SANDY CLAY LOAM					
54	Полигон	Ch16-3a	Ch	369	KAZAKHSTAN	32,2	44,1	23,7	7,1	0,26	0,1	SANDY CLAY LOAM					
55	Полигон	Je12-2a	Je	1812	KAZAKHSTAN	70,8	12,8	16,5	6,6	0,29	0	LOAM					
56	Полигон	Ch17-3a	Ch	36	KAZAKHSTAN	32,2	44,1	23,7	7,1	0,26	0,1	CLAY LOAM					
57	Полигон	Sm13-3a	Sm	5555	KAZAKHSTAN	51,7	31,9	16,4	7,6	0,15	4,2	CLAY LOAM					
58	Полигон	C1-3a	C	1131	KAZAKHSTAN	42,9	27,6	29,5	7,3	0,18	4,8	CLAY					
59	Полигон	C1-3a	C	118	KAZAKHSTAN	42,9	27,6	29,5	7,3	0,18	4,8	CLAY					
61	Полигон	Ck7-3a	Ck	11247	KAZAKHSTAN	41,6	26,6	31,8	7,5	0,18	8,1	CLAY LOAM					

Рисунок 2 - Почвенные характеристики, полученные на основе базы данных FAO/ISRIC

По текстурному составу в верхнем горизонте преимущественно встречаются супесчаные и суглинистые разновидности, обеспечивающие хорошее водоудержание и благоприятные физико-механические свойства для обработки.

Кислотность почв варьируется в пределах рН 7.5–7.7, что указывает на нейтральную или слабощелочную среду, благоприятную для большинства сельскохозяйственных культур [13]. Содержание общего азота составляет 0.18–0.20%, что соответствует среднему уровню обеспеченности по данному элементу питания. Соотношение углерода к азоту (C/N) составляет около 11, свидетельствуя о нормальном уровне микробиологической активности и удовлетворительном состоянии гумусового горизонта.

Геоинформационная модель была разработана в программной среде ArcGIS с применением инструмента **Weighted Overlay**. Модель обеспечивает автоматизацию ключевых этапов — от предварительной подготовки входных пространственных данных и расчёта интегрального показателя пригодности до формирования итоговых карт (рисунок 3).



Рисунок 3 – Модель классификаций пахотнопригодных земель

Для комплексной оценки всех факторов, влияющих на эффективность использования земель, был применён метод аналитической иерархии (таблица 1). Данный подход позволяет объективно определить вес каждого критерия путём парных сравнений, обеспечивая обоснованную интеграцию данных в рамках многокритериальной модели оценки пригодности.

Таблица 1 - Итоговые веса по АНР

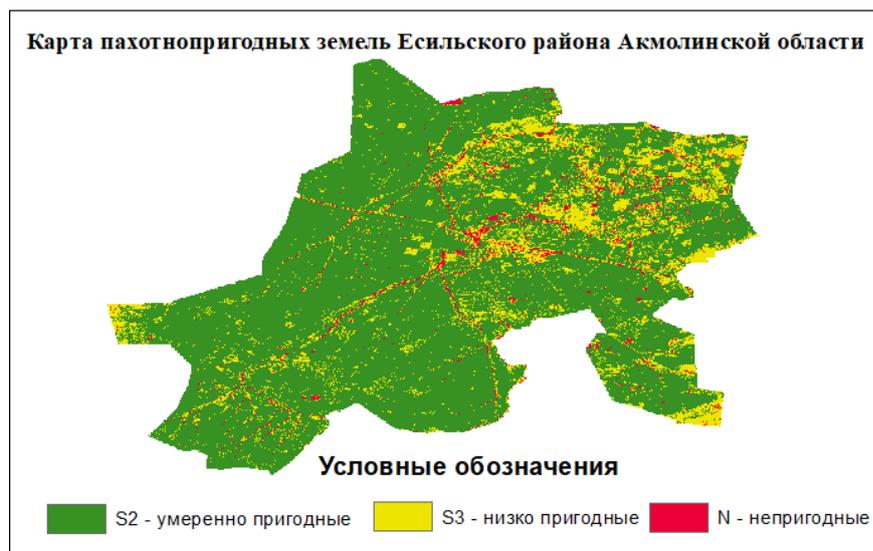
№	Критерий	Почвенные данные	Осадки	Уклон	SOC	рН почвы	FC	N	NDVI	Экспозиция	Нормализованный вес
1	Почвенные данные (тип почвы, мех состав)	1	3	5	3	3	4	5	3	4	0,3056
2	Осадки	1/3	1	2	1	1	2	2	1	1	0,1085
3	Уклон	1/3	1	1	1	2	1/5	2	1	1	0,1046
4	SOC	1/3	1	1/2	1	2	2	3	2	2	0,1085
5	рН почвы	1/5	1/2	1/2	1/2	1	1	1	1/2	1	0,0600
6	Влагоемкость (FC)	1/4	1/2	1	1/2	2/3	1	1/5	1	1	0,0721
7	Минеральный азот	1/5	1/2	1	1/2	1/2	2/3	1	1	1	0,0625
8	NDVI	1/3	1	2	1	1	1	1	1	1	0,0938
9	Экспозиция	1/4	1	1	1	1	1	1	1	1	0,0844

После нормализации исходных критериев и определения весов с использованием метода АНР, следующим этапом стало построение **интегральной карты пригодности земель**. Эта

карта представляет собой результат **взвешенного наложения** пространственных слоёв в геоинформационной среде.

Модель позволяет формировать **обоснованную пространственную стратегию управления пахотными землями**, выявлять зоны высокой агроэкономической эффективности, а также **оптимизировать планирование субсидий, инвестиций и мелиоративных мероприятий**. Она легко масштабируется и может адаптироваться под другие регионы и культуры.

На финальном этапе геоанализа территория была классифицирована по уровням пригодности: от умеренно пригодных участков до низко пригодных и полностью непригодных земель. Пространственное распределение указанных категорий представлено на рисунке 4.



**Рисунок 4** - Карта по уровни пригодности пахотных земель

Для комплексной оценки пригодности земель к пашне использовался интегральный индекс пригодности (ИЖИ). Значение ИЖИ отражает степень пригодности территории: более высокие показатели указывают на большую эффективность её использования в сельскохозяйственных целях. Преимущество данного подхода заключается в возможности интеграции различных природных, агрохимических и климатических факторов в единую систему и получения комплексной количественной оценки (рисунок 5).



**Рисунок 5** - Земельные участки Есильского района по индексу пашенной пригодности

**Интерпретация по графической шкале:**

- **0,70–1,00** – высоко пригодные земли;

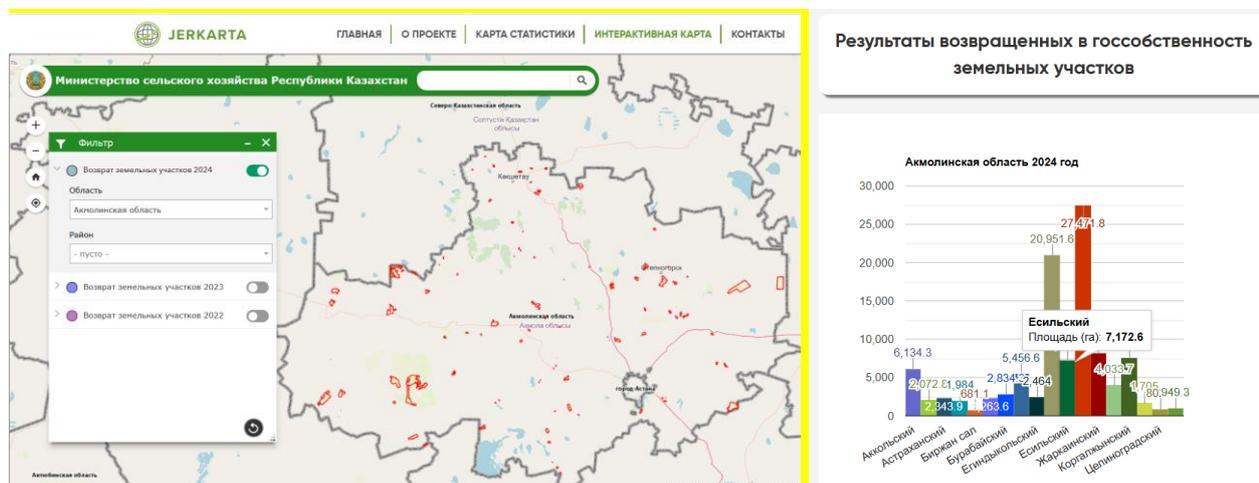
- **0,40–0,69** – умеренно пригодные;
- **0,00–0,39** – непригодные земли.

По результатам классификации пригодности пахотных земель Есильского района Акмолинской области показал, что основная часть территории (82 % от общей площади) относится к категории **умеренно пригодных (S2)**, что свидетельствует о наличии определённых ограничений, но в целом благоприятных условий для сельскохозяйственного использования. Около 15 % земель классифицированы как **низко пригодные (S3)**, что предполагает необходимость проведения дополнительных агротехнических и мелиоративных мероприятий для повышения их продуктивности. Лишь 3 % территории отнесено к категории **непригодных (N)**, нецелесообразных для использования в качестве пашни. Категория **высоко пригодных (S1)** земель в пределах исследуемой территории не выявлена (таблица 2).

**Таблица 2** - Результаты классификации пригодности пахотных земель Есильского района Акмолинской области

№	Классификация пригодности	Площадь, га	% от общей площади
1	S1 - высоко пригодные	-	-
2	S2-умеренно пригодные	649754	82
3	S3-низко пригодные	120188	15
4	N- непригодные	23577	3
Всего		793519	100

На основе анализа данных цифровой карты землепользования (JerKarta) [14] было выявлено наличие неиспользуемых сельскохозяйственных угодий общей площадью **7172,6 га** в пределах Есильского района Акмолинской области (рисунок 6). Проведённая классификация земель по степени пригодности к пашенному использованию, выполненная с применением геоинформационного моделирования, позволила отнести указанные участки к различным категориям по шкале FAO: **S2 (умеренно пригодные)** и **S3 (низко пригодные)**.



**Рисунок 6** – Неиспользуемые сельскохозяйственные земли по данным портала "JerKarta"

Результаты пространственной оценки показали, что значительная часть неиспользуемых земель, относящихся к категориям **S2**, характеризуется удовлетворительными агроэкологическими параметрами и может быть вовлечена в сельскохозяйственный оборот при соблюдении соответствующих агротехнических условий. В то же время, территории, классифицированные как **S3**, демонстрируют низкий производственный потенциал, наличие значительных ограничений (например, неблагоприятные почвенно-физические свойства, повышенная эрозийная опасность), что делает их экономически нецелесообразными для вовлечения в пашню ввиду отсутствия ожидаемой рентабельности.

Таким образом, геоинформационный подход к оценке пригодности земель предоставляет обоснование для **селективного вовлечения в сельхозоборот только продуктивных участков**, что способствует рациональному использованию ресурсов и минимизации финансовых рисков.

Разработанная модель оценки пригодности пахотных земель демонстрирует высокую эффективность, однако имеет ряд ограничений. Прежде всего, точность анализа зависит от качества и актуальности исходных данных: почвенные базы (например, HWSD) имеют обобщённый характер и не всегда отражают локальные агроэкологические особенности. Кроме того, метод АНР, лежащий в основе взвешенного анализа, основан на экспертных оценках, что влечёт потенциальную субъективность при определении весов критериев. В данной модели социально-экономические факторы (инфраструктура, близость к водным ресурсам и др.) не были учтены. Это должно быть учтено в будущих исследованиях и направлено на повышение потенциала модели.

### **Выводы**

1. Проведённый анализ показал, что значительная часть территории Есильского района обладает высоким агроэкологическим потенциалом и может эффективно использоваться для сельского хозяйства при условии применения устойчивых агротехнологий.

2. Сравнительный анализ весов критериев показал приоритетное значение почвенных характеристик, уклона и SOC для формирования сельскохозяйственного потенциала. Климатические параметры, несмотря на меньшую вариативность, задают общий фон и устойчивость агроэкосистем.

3. Проведённая классификация показала, что в Есильском районе 649 754 га земель относятся к категории S2 (умеренно пригодные), 120 188 га — к S3 (низко пригодные) и 23 577 га — к категории N (непригодные). Высоко пригодных (S1) земель не выявлено.

4. Вовлечение около 7,2 тыс. га неиспользуемых земель категории S2 может способствовать расширению пашни без ущерба для экосистем при условии внедрения влагосберегающих и почвозащитных технологий.

5. Использование методологии FAO, интеграция многокритериальной оценки и применение данных дистанционного зондирования обеспечили объективность анализа и позволяют адаптировать предложенную модель для других аграрных регионов Казахстана.

6. Полученные результаты подчеркивают необходимость системного подхода к управлению земельными ресурсами, основанного на пространственных данных, экологических ограничениях и экономической эффективности, что особенно важно в условиях усиливающегося давления на пахотные земли и климатических изменений.

### **Список источников**

1 Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3–65. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>

2 Food and Agriculture Organization. (1976). *A framework for land evaluation* (FAO Soils Bulletin No. 32). FAO. <https://www.fao.org/4/x5310e/x5310e00.htm>

3 Rau, A., Koibakova, Ye., Balgabayev, N., Nabiollina, M., Kurmanbek, Zh., Issakov, Ye., Zhu, K., & Dávid, L.D. (2023). Increase in productivity of chestnut soils on irrigated lands of Northern and Central Kazakhstan. *Land*, 12(3), 672. <https://doi.org/10.3390/land12030672>

4 Al-Taani, A., Al-husban, Y., & Farhan, I. (2019). Land suitability evaluation for agricultural use using GIS and remote sensing techniques: The case study of Ma'an Governorate, Jordan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982319302479>

5 Šilc, U., Marušić, D., & Košir, M. (2022). GIS-based evaluation of agricultural land suitability using weighted overlay analysis: A case study from Slovenia. *Sustainability*, 14(3), 1552. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/20.9507>

6 Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.

7 Otgonbayar, M., Atzberger, C., Chambers, J., Amarsaikhan, D., Böck, S., & Tsogtbayar, J. (2017). Land suitability evaluation for agricultural cropland in Mongolia using the spatial MCDM method and AHP-based GIS. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 5(9), 238–263. <https://doi.org/10.4236/gep.2017.59017>

8 Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Pyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

9 Ceballos-Silva, A., & López-Blanco, J. (2003). Delineation of suitable areas for crops using a multi-criteria evaluation approach and land use-cover mapping: A case study in Central Mexico. *Agricultural Systems*, 77, 117–136. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00103-8](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00103-8)

10 U.S. Geological Survey. (n.d.). U.S. Geological Survey. Retrieved August 29, 2025, from <https://www.usgs.gov/>

11 Food and Agriculture Organization & ISRIC. (2023). *Harmonized World Soil Database (HWSD)*. FAO. <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/hwsd>

12 Оспанова, А.А., Озеранская, Н.Л., & Татаринцев, В.Л. (2025). Охрана сельскохозяйственных угодий на основе агроэкологического зонирования. *Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты*, 1(105). <https://doi.org/10.37884/1-2025/34>

13 Оглезнев, А.К. (2003). *Методические рекомендации по оценке качества и классификация земель по их пригодности использования в сельском хозяйстве*. Москва: Институт. ISBN 5-902409-09-8.

14 Интерактивная карта «JerKarta». (n.d.). <https://jerkarta.gharysh.kz/ru/>

15 Унышева, Н. К., Макенова, С. К., Репников, И. В., & Татаринцев, В. Л. (2024). Оценка экономических возможностей территории засушливой степи для повышения эффективности использования пахотных земель. *Устойчивое развитие горных территорий*, 16(4), 1766–1782. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-4-1766-1782>

16 Climatic Research Unit. (n.d.). *CRU TS v4.08: Climatic Research Unit Time-Series Data – Global Rainfall Erosivity*. Retrieved August 29, 2025, from <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>

## References

1 Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3–65. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>

2 Food and Agriculture Organization (FAO). (1976). *A framework for land evaluation* (FAO Soils Bulletin No. 32). FAO. <https://www.fao.org/4/x5310e/x5310e00.htm>

3 Rau, A., Koibakova, Ye., Balgabayev, N., Nabiollina, M., Kurmanbek, Zh., Issakov, Ye., Zhu, K., & Dávid, L. D. (2023). Increase in productivity of chestnut soils on irrigated lands of Northern and Central Kazakhstan. *Land*, 12(3), 672. <https://doi.org/10.3390/land12030672>

4 Al-Taani, A., Al-husban, Y., & Farhan, I. (2019). Land suitability evaluation for agricultural use using GIS and remote sensing techniques: The case study of Ma'an Governorate, Jordan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982319302479>

5 Šilc, U., Marušić, D., & Košir, M. (2022). GIS-based evaluation of agricultural land suitability using Weighted Overlay Analysis: A case study from Slovenia. *Sustainability*, 14(3), 1552. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/20.9507>

6 Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill.

7 Otgonbayar, M., Atzberger, C., Chambers, J., Amarsaikhan, D., Böck, S., & Tsogtbayar, J. (2017). Land suitability evaluation for agricultural cropland in Mongolia using the spatial MCDM method and AHP based GIS. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 5(9), 238–263. <https://doi.org/10.4236/gep.2017.59017>

8 Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Pyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

- 9 Ceballos-Silva, A., & López-Blanco, J. (2003). Delineation of suitable areas for crops using a multi-criteria evaluation approach and land use-cover mapping: A case study in Central Mexico. *Agricultural Systems*, 77, 117–136. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00103-8](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00103-8)
- 10 U.S. Geological Survey. (n.d.). U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov/>
- 11 FAO-ISRIC. (2023). *Harmonized World Soil Database (HWSD)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/hwsd>
- 12 Ospanova, A.A., Ozeranskaya, N.L., & Tatarintsev, V.L. (2025). Ohrana sel'skohozyajstvennyh ugodij na osnove agroekologicheskogo zonirovaniya. *Izdenister, natizheler – Issledovaniya, rezul'taty*, 1(105). <https://doi.org/10.37884/1-2025/34> [in Russian]
- 13 Ogleznev, A.K. (2003). *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke kachestva i klassifikatsiya zemel' po ih prigodnosti ispol'zovaniya v sel'skom hoz'jajstve*. Moskva. ISBN 5-902409-09-8 [in Russian]
- 14 Interaktivnaja karta «JerKarta». (n.d.). <https://jerkarta.gharysh.kz/ru/> [in Russian]
- 15 Unysheva, N. K., Makenova, S. K., Repnikov, I. V., & Tatarintsev, V. L. (2024). Ocenka ekonomicheskikh vozmozhnostej territorii zasushlivoj stepi dlya povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya pahotnyh zemel'. *Ustojchivoe razvitie gornyh territorij*, 16(4), 1766–1782. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-4-1766-1782> [in Russian]
- 16 Climatic Research Unit. (n.d.). *CRU TS v4.08: Climatic Research Unit Time-Series Data – Global Rainfall Erosivity*. Retrieved August 29, 2025, from <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>

**Н.К. Унышева\*<sup>1</sup>, С.К. Макенова<sup>1</sup>, Л.Т. Бабкенова<sup>2</sup>, Р.К. Абельдина<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы, [nurlygul\\_kosherbayevna@mail.ru](mailto:nurlygul_kosherbayevna@mail.ru)\*, [saule\\_makenova@mail.ru](mailto:saule_makenova@mail.ru), [rauza-k12@mail.ru](mailto:rauza-k12@mail.ru)

<sup>2</sup> Сібір геожүйелер және технологиялар мемлекеттік университеті, Новосібір қ., Ресей Федерациясы, [babkenl@yandex.ru](mailto:babkenl@yandex.ru)

## **ЕГІСТІККЕ ЖАРАМДЫ ЖЕРЛЕРДІҢ ПАЙДАЛАНУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ**

### **Аңдатпа**

Ауыл шаруашылығы алқаптарына түсетін қысымның артуы мен топырақ құнарлылығының төмендеуі жағдайында егістікке жарамды жерлерді ұтымды пайдалану аграрлық саясаттың басым бағытына айналуға. Зерттеудің мақсаты – Ақмола облысының Есіл ауданы аумағында егістікке жарамдылықты бағалау үшін геоакпараттық модель әзірлеу. Бастапқы деректер ретінде Landsat-8 спутниктік суреттері, сандық бедер үлгісі (SRTM), климаттық параметрлер (CRU) және топырақ сипаттамалары (HWSD) пайдаланылды. Зерттеу әдіснамасы иерархиялық талдау әдісін (АНР), агроэкологиялық аудандастыруды және жерлерді FAO шкаласы бойынша жіктеуді қамтыды. Нәтижесінде аудан аумағының 82 %-ы орташа жарамды (S2), 15 %-ы төмен жарамды (S3), ал 3 %-ы жарамсыз (N) санатына жататыны анықталды. Жоғары жарамды (S1) жерлер анықталмады. Интегралды жарамдылық картасы агроэкономикалық тұрғыдан әлеуетті учаскелердің кеңістіктік бөлінісін көрсетеді. Зерттеудің практикалық маңызы – жерді ұтымды пайдалану, субсидиялау және пайдаланылмай жатқан жерлерді игерудің тиімділігін бағалау саласында шешім қабылдауға арналған ғылыми негіз қалыптастыру. Әзірленген геоакпараттық модель ауыл шаруашылығы өндірісін жоспарлау, мелиорациялық іс-шараларды жүзеге асыру барысында шешім қабылдауды қолдау құралы ретінде қолданылып, Қазақстанның басқа аграрлық аймақтарына да бейімделуі мүмкін.

**Кілт сөздер:** егістікке жарамды жерлер, ГАЖ, аналитикалық иерархия әдісі, қашықтықтан зондтау, жерді оңтайлы пайдалану, жер бедерінің сандық моделі

**N.K. Unysheva\*<sup>1</sup>, S.K. Makenova<sup>1</sup>, L.T. Babkenova<sup>2</sup>, R.K. Abeldina<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,  
Astana, Republic of Kazakhstan, nurlygul\_kosherbayevna@mail.ru\*,  
saule\_makenova@mail.ru, rauza-k12@mail.ru*

<sup>2</sup>*Siberian State University of Geosystems and Technologies,  
Novosibirsk, Russian Federation, babkenl@yandex.ru*

### **INCREASING THE EFFICIENCY OF ARABLE LAND USE**

#### **Abstract**

Under the conditions of increasing pressure on agricultural lands and declining soil fertility, the rational use of arable-suitable lands becomes a priority direction of agrarian policy. The aim of this study is to develop a geoinformation model for assessing land suitability for arable use within the Yesil district of Akmola region. The input data included Landsat-8 satellite imagery, a digital elevation model (SRTM), climatic parameters (CRU), and soil characteristics from the HWSD database. The methodology comprised the application of the Analytic Hierarchy Process (AHP), agroecological zoning, and land classification based on the FAO framework. The results revealed that 82% of the district's territory belongs to the moderately suitable category (S2), 15% to the marginally suitable category (S3), and 3% to the unsuitable category (N). No highly suitable lands (S1) were identified. The integrated suitability map illustrates the spatial distribution of agro-economically promising areas. The practical significance of the research lies in providing a scientifically grounded basis for decision-making in the field of rational land use, subsidy allocation, and assessment of the profitability of developing unused lands. The developed GIS-based model can serve as a decision-support tool for agricultural production planning, implementation of land reclamation measures, and may also be adapted for use in other agricultural regions of Kazakhstan.

**Keywords:** arable-suitable land, GIS, Analytic Hierarchy Process, remote sensing, rational land use, digital elevation model

#### **Вклад авторов**

**Н.К. Унышева:** Концептуализация; Методология; Формальный анализ; Визуализация; Написание – первоначальный проект; Программное обеспечение; Расследование; Ресурсы; Написание – обзор и редактирование.

**С.К. Макенова:** Курирование данных; Проверка; Написание – обзор и редактирование; Надзор.

**Л.Т. Бабкенова:** Программное обеспечение; Формальный анализ; Визуализация; Проверка.

**Р.К. Абельдина:** Администрирование проекта; Курирование данных; Проверка.

Авторы выражают искреннюю признательность редактору и двум анонимным рецензентам за их конструктивные комментарии и ценные предложения, которые существенно способствовали улучшению рукописи.