

Республика Казахстан, 111108, Костанайская область, Костанайский район, с. Заречное, ул. Юбилейная, 12, тел.: 87476874419, e-mail: tulkubaeva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1548-6982>.

Сомова Светлана Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории точного и органического земледелия, ТОО «Сельскохозяйственная опытная станция «Заречное», Республика Казахстан, 111108, Костанайская область, Костанайский район, с. Заречное, ул. Юбилейная, 12, тел.: 87087245074, e-mail: somik11-84@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1823-2240>.

Тулаев Юрий Валерьевич – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, ғылыми іс-шараның жетекшісі, «А.И.Бараев атындағы Астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 021600, Ақмола облысы, Шортанды ауданы, Научный кенті, Александр Бараев көш, 15, тел.: 87071288832, e-mail: yurii27@yandex.kz; <https://orcid.org/0000-0003-1065-8968>.

Тულкубаева Сания Абильтаявна* – ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, қауымдас-тырылған профессор, ғылыми хатшы, «Заречное» ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 111108, Қостанай облысы, Қостанай ауданы, Заречное ауылы, Юбилейная көш, 12, тел.: 87476874419, e-mail: tulkubaeva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1548-6982>.

Сомова Светлана Владимировна – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, нақты және органикалық егіншілік зертханасының аға ғылыми қызметкері, «Заречное» ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 111108, Қостанай облысы, Қостанай ауданы, Заречное ауылы, Юбилейная көш, 12, тел.: 87087245074, e-mail: somik11-84@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1823-2240>.

Tulayev Yuriy Valeriyevich – Candidate of Agricultural Sciences, Scientific Event Manager, A.I.Barayev Research and Production Center for Grain Farming LLP, Republic of Kazakhstan, 021600, Akmola region, Shortandy district, Nauchnyi village, 15 Alexandr Barayev Str., tel.: 87071288832, e-mail: yurii27@yandex.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1065-8968>.

Tulkubayeva Saniya Abiltayevna* – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Scientific Secretary, Zarechnoye agricultural experimental station LLP, Republic of Kazakhstan, 111108, Kostanay region, Kostanay district, Zarechnoye village, 12 Yubileynaya Str., tel.: 87476874419, e-mail: tulkubaeva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1548-6982>.

Somova Svetlana Vladimirovna – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Precision and Organic Farming, Zarechnoye agricultural experimental station LLP, Republic of Kazakhstan, 111108, Kostanay region, Kostanay district, Zarechnoye village, 12 Yubileynaya Str., tel.: 87087245074, e-mail: somik11-84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1823-2240>.

МРНТИ 68.35.13

УДК 528.9:633.11

<https://doi.org/10.52269/KGTD2531270>

ГИС-МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ПШЕНИЦЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ NDVI В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ

Унышева Н.К.* – докторант кафедры землеустройства, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Макенова С.К. – доктор PhD, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой землеустройства, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Бабкенова Л.Т. – аспирант кафедры кадастр, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», г. Новосибирск, Российская Федерация.

В условиях усиливающейся климатической нестабильности и высокой агрорисковости производства в степной зоне Северного Казахстана задача оперативного прогнозирования урожайности пшеницы приобретает особую значимость. В настоящем исследовании создана пространственная модель оценки урожайности пшеницы с использованием данных дистанционного зондирования (NDVI), климатических и почвенных характеристик, цифровой модели рельефа и инструментов геоинформационного анализа в среде ArcGIS с применением инструментов пространственного анализа и конструктора ModelBuilder. Исследование выполнено на примере Айыртауского района Северо-Казахстанской области. Для оценки состояния посевов использовался вегетационный индекс NDVI, рассчитанный по спутниковым изображениям Sentinel-2. Интеграция с агростатистическими данными позволила получить пространственную характеристику урожайности: средняя

составила 11,5 ц/га, а максимальная — 27,5 ц/га. Проведённый анализ показал наличие устойчивой корреляции между значениями NDVI и фактическими показателями урожайности, что позволило выделить участки с повышенным агропроизводственным потенциалом. Разработанная модель демонстрирует высокую точность и практическую применимость для задач агропроизводственного планирования, оптимизации структуры посевных площадей, управления земельными ресурсами и оценки инвестиционной привлекательности сельскохозяйственных территорий. Полученные результаты могут быть использованы в рамках цифровизации агропромышленного комплекса Казахстана и адаптированы к другим регионам.

Ключевые слова: сельскохозяйственные угодья, устойчивое землепользование, прогнозирование урожайности, ModelBuilder, геоинформационные системы, NDVI, цифровая модель рельефа.

ДАЛА АЙМАҒЫНДА NDVI ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, БИДАЙ ӨНІМДІЛІГІН ГАЖ АРҚЫЛЫ МОДЕЛЬДЕУ

Унышева Н.К. * – жерге орналастыру кафедрасының докторанты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Макенова С.К. – PhD доктор, қауымдастырылған профессор, жерге орналастыру кафедрасының меңгерушісі, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Бабкенова Л.Т. – кадастр кафедрасының аспиранты, «Сібір геожүйелер және технологиялар мемлекеттік университеті» ЖБ ФМБОМ, Новосибирск қ., Ресей Федерациясы.

Солтүстік Қазақстанның дала аймағында климаттық тұрақсыздықтың күшеюі және ауыл шаруашылығы өндірісінің жоғары тәуекелділігі жағдайында бидай өнімділігін жедел болжау міндеті ерекше маңызға ие болуда. Осы зерттеуде бидай өнімділігін бағалауға арналған кеңістіктік модель жасалды. Бұл модель қашықтықтан зондтау деректерін (NDVI), климаттық және топырақтық сипаттамаларды, жер бедерінің сандық моделін және ArcGIS жүйесіндегі геоақпараттық талдау құралдарын, соның ішінде кеңістіктік талдау және ModelBuilder конструкторын қолдану арқылы құрылды. Зерттеу Солтүстік Қазақстан облысының Айыртау ауданы мысалында жүргізілді. Егістік жағдайын бағалау үшін Sentinel-2 спутниктік суреттері негізінде есептелген NDVI вегетациялық индексі қолданылды. Агростатистикалық деректермен біріктіру өнімділіктің кеңістіктік сипаттамаларын алуға мүмкіндік берді: орташа өнімділік 11,5 ц/га, ал ең жоғары көрсеткіш – 27,5 ц/га құрады. Жүргізілген талдау NDVI мәндері мен нақты өнімділік көрсеткіштері арасында тұрақты корреляция бар екенін көрсетті, бұл жоғары агроөндірістік әлеуетке ие учаскелерді анықтауға мүмкіндік берді. Өзірленген модель агроөндірістік жоспарлау, егістік құрылымын оңтайландыру, жер ресурстарын басқару және ауыл шаруашылығы аумақтарының инвестициялық тартымдылығын бағалау міндеттерінде жоғары дәлдік пен практикалық қолданбалығын көрсетті. Зерттеу нәтижелері Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік кешенін цифрландыру бағдарламасы аясында кеңінен қолдануға жарамды және өзге өңірлерге бейімдеуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: ауыл шаруашылығы жерлері, тұрақты жер пайдалану, өнімділікті болжау, ModelBuilder, геоақпараттық жүйелер, NDVI, бедердің сандық моделі.

GIS-BASED MODELING OF WHEAT YIELD USING NDVI IN THE STEPPE ZONE

Unysheva N.K. * – PhD student, Department of land management, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan.

Makenova S.K. – PhD, Associate Professor, Head of the Department of land management, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan.

Babkenova L.T. – Postgraduate Student, Department of Cadastre, Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation.

In the context of increasing climate instability and high agricultural risks in the steppe zone of the Northern Kazakhstan, the task of timely wheat yield forecasting becomes especially important. This study presents a spatial model for estimating wheat yield using remote sensing data (NDVI), climatic and soil characteristics, a digital elevation model (DEM), and geoinformation analysis tools within the ArcGIS environment, including spatial analysis instruments and the ModelBuilder constructor. The research was conducted in the Ayirtau district of the Northern Kazakhstan Region. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), calculated from Sentinel-2 satellite imagery, was used to assess the condition of crop areas. Integration with agro-statistical data enabled the generation of a spatial yield distribution, with an average yield of 11.5 c/ha and a maximum of 27.5 c/ha. The analysis revealed a stable correlation between NDVI values and actual yield indicators, allowing the identification of areas with high agro-productive potential. The developed model demonstrates high accuracy and practical applicability for agricultural planning, optimization of crop area

structure, land resource management, and assessment of the investment attractiveness of agricultural territories. The obtained results can contribute to the digital transformation of Kazakhstan's agro-industrial complex and can be adapted to other regions.

Key words: agricultural land, sustainable land use, yield forecasting, ModelBuilder, geographic information systems (GIS), NDVI, digital elevation model (DEM).

Введение. Пшеница является стратегической сельскохозяйственной культурой Казахстана, занимая около 70% всех посевных площадей зерновых культур страны [1, с.1]. Казахстан входит в число десяти крупнейших экспортеров пшеницы в мире, обеспечивая продовольственную безопасность как внутри страны, так и за её пределами [2, с.1]. Однако агроклиматические условия степной зоны северного Казахстана характеризуются высокой засушливостью, неустойчивостью осадков и частыми экстремальными погодными явлениями [3, с.7]. В последние десятилетия наблюдается увеличение климатической изменчивости [4, с.1], что делает производство пшеницы ещё более подверженным рискам.

В этих условиях особую актуальность приобретает задача оперативного и долгосрочного прогнозирования урожайности пшеницы. Это позволяет:

- оптимизировать планирование сельскохозяйственного производства;
- принимать обоснованные решения по распределению ресурсов;
- своевременно реагировать на угрозы продовольственной безопасности [5, с.2].

Традиционные методы оценки урожайности, основанные на статистических данных, часто обладают запаздывающим эффектом, тогда как современные ГИС-технологии и дистанционное зондирование (ДЗЗ) обеспечивают высокую оперативность и точность прогнозирования.

В степных районах применение NDVI-индикаторов и метеорологических данных уже продемонстрировало свою эффективность для оперативного мониторинга состояния посевов и оценки урожайности [6, с.1]. Кроме того, прогнозирование урожайности особенно важно в свете международных обязательств Казахстана по обеспечению продовольственной безопасности и устойчивого земледелия, зафиксированных в Целях устойчивого развития ООН (ЦУР) [7, с.18].

Цель работы: создать пространственную модель прогнозирования урожайности пшеницы на основе данных дистанционного зондирования и агроэкологических факторов в условиях Айыртауского района Северо-Казахстанской области.

Задачи исследования: анализировать агроэкологические условия региона, собрать и интегрировать пространственные данные (NDVI, почва, рельеф, климат), определить взаимосвязь между NDVI и урожайностью, разработать алгоритм пространственного анализа и подготовить карты продуктивности для последующего применения в аграрном планировании.

Материалы и методы. Объектом исследования являются Северо-Казахстанская область, Айыртауский район. Материалом для исследования послужили космические снимки и данные, доступные на открытых веб-порталах. Использование пространственных данных (NDVI, почвы, рельефа, климата) в единой системе анализа позволяет учитывать множество факторов, влияющих на урожайность. Модель обрабатывает большие массивы (рисунок 1) информации, что обеспечивает более объективный и точный прогноз урожайности по сравнению с традиционными методами (например, основанными на субъективных наблюдениях или усреднённой статистике), а также способствует принятию стратегических решений в агробизнесе.



Рисунок 1 – Структура прогноза урожайности

Данные для модели (таблица 1), использованные в исследовании, позволяют полностью охватить основные агроэкологические факторы, влияющие на урожайность. Интеграция этих данных в пространственную модель обеспечивает более точные прогнозы и повышает обоснованность принимаемых решений в агробизнесе. Это служит основой для оптимизации посевных площадей, повышения рентабельности и минимизации рисков.

Таблица 1 – Агроэкологические факторы

Источник	Определить	Источник данных
Почва	Тип, плодородие, pH, текстура	HWSD, SoilGrids, обследования
Климат	Температура, осадки, влажность	CRU, Метеостанции
Рельеф (DEM)	Уклон, экспозиция	SRTM, ASTER
NDVI / EVI	Состояние растительности	Sentinel-2, Landsat-8
Данные по урожаю	Урожайность по годам	Статистика хозяйства/ районов

Главным источником являются спутниковые снимки (Sentinel-2 или Landsat 8) это мульти-спектральные растровые изображения высокой пространственной и временной разрешающей способности, формата GeoTIFF, JPEG2000 (Landsat 8) источниками получения, веб приложения USGS EarthExplorer [8, с.1], Copernicus Open Access Hub [9, с.1].

Исходные параметры агроэкологических условий:

Климатические данные: среднемесячная температура воздуха в вегетационный период (май-сентябрь) составляла от +14,5 °С до +20,1 °С; сумма осадков за период активной вегетации варьировала от 306 до 318 мм (данные метеостанций и базы CRU TS 4.08).

Влагообеспеченность почв: по результатам наблюдений влажность пахотного горизонта (0-20 см) в начале вегетации составила 19-21%, к колошению снижалась до 14-16%.

Питательный режим: содержание гумуса – 4,2-5,0%, азота (N) – 70-85 мг/кг почвы, подвижного фосфора – 22-28 мг/кг, обменного калия – 360-420 мг/кг [14, с.1].

Результаты и обсуждение. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур, включая пшеницу, активно развивается за счёт использования геоинформационных систем (ГИС), дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и спектральных индексов, таких как NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [11, с.692]. Использование данных спутниковых снимков позволяет получать информацию в видимом и инфракрасном диапазонах, необходимую для расчёта вегетационных индексов NDVI, которые оценивают биомассу и состояние посевов пшеницы на разных стадиях роста (рисунок 2). Временные ряды снимков дают возможность наблюдать динамику роста растений в течение сезона и предсказывать будущий урожай.



Рисунок 2 – Определение оптимального периода для расчёта NDVI на основе фаз вегетации пшеницы

Цифровая модель рельефа местности (ЦМР), представленная в виде растровых данных о высоте земной поверхности в формате GeoTIFF, была получена с портала earthdata (данные DEM) [12]. Рельеф оказывает значительное влияние на процессы поверхностного стока, развитие водной и ветровой эрозии, а также формирует локальные микроклиматические условия, включая освещённость и температурные режимы. В данной работе особое внимание уделено уклону поверхности: установлено, что участки с уклоном до 0,5° обладают наибольшей пригодностью для сельскохозяйственно-

го использования, такие территории обозначены зелёным цветом, тогда как участки с средним склонами (1,0-1,5°) [12, с.269], менее благоприятные для земледелия из-за потерь влаги и высокой подверженности эрозии, выделены красным (рисунок 3). На этих участках рекомендуется использование почвозащитных севооборотов и проведение агротехнических мероприятий поперек склона.

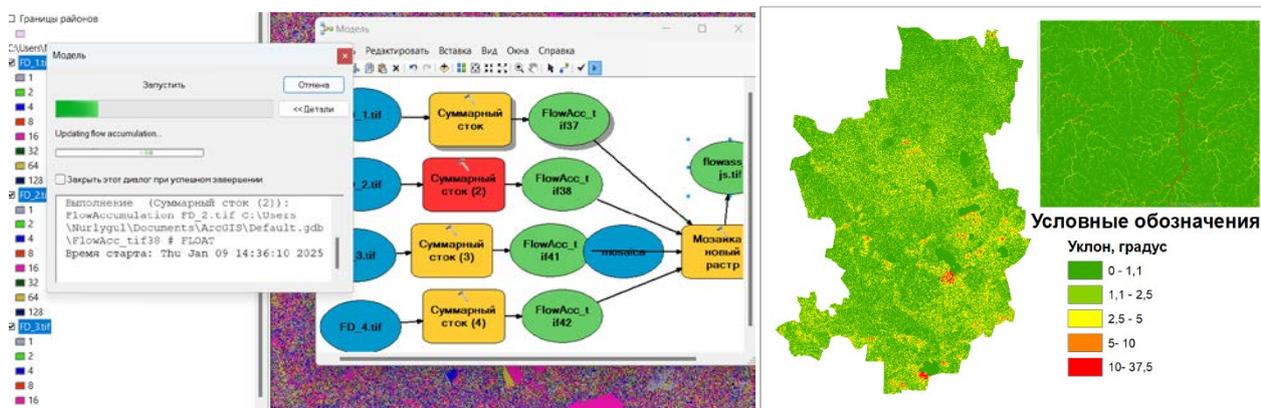


Рисунок 3 – Определение уклона и направление стока с применением Model Builder

Кроме того, была выполнена классификация экспозиций склонов, что позволило определить потенциально более продуктивные участки по критерию солнечной инсоляции — в частности, южные склоны, получающие больше тепла и света, считаются более перспективными для возделывания сельскохозяйственных культур (рисунок 4).

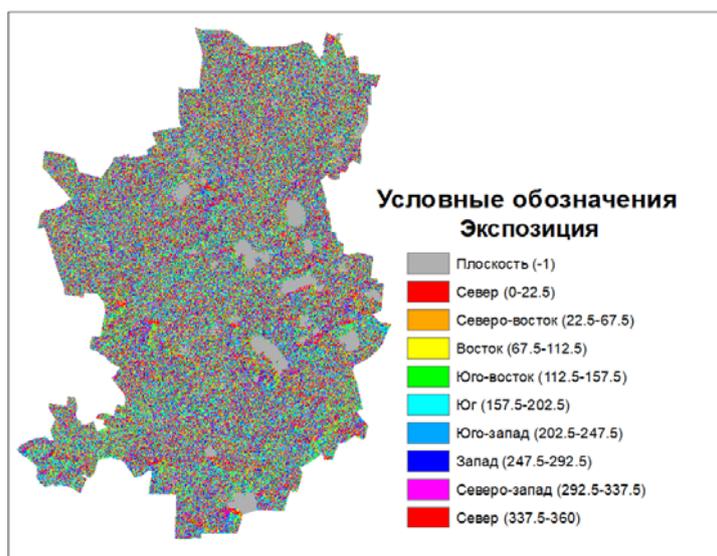


Рисунок 4 – Экспозиция объекта

Почвы являются ключевым фактором для определения потенциальной урожайности. Основными типами являются чернозёмы, суглинки и лугово-чернозёмные почвы, обладающие высоким содержанием гумуса и влагоёмкостью, что благоприятно для выращивания пшеницы. На основе данных ФАО-ИСРИК (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН и Международный справочно-информационный центр по почвам) (рисунок 5), а также базы данных DSMW (Digital Soil Map of the World – Цифровая карта почв мира) [13, с.1], были определены основные типы почвенного покрова Айыртауского района.

Согласно международной классификации, на данной территории преобладают следующие почвы:

- Ch (Chernozems) – обыкновенные чернозёмы, отличающиеся мощным гумусовым горизонтом и высоким естественным плодородием, что делает их основными для сельскохозяйственного использования;
- Sk (Calcic Chernozems) – кальциевые чернозёмы, формирующиеся в условиях аккумуляции карбонатов кальция в почвенном профиле;
- l (Leptosols) – литосоли, маломощные и слаборазвитые почвы, распространённые на плотных породах, с низким содержанием гумуса и ограниченным потенциалом для земледелия;

– Sm (Solonetz soils) – это почвы, формирующиеся в условиях периодического засоления и последующего выщелачивания [14, с.1].

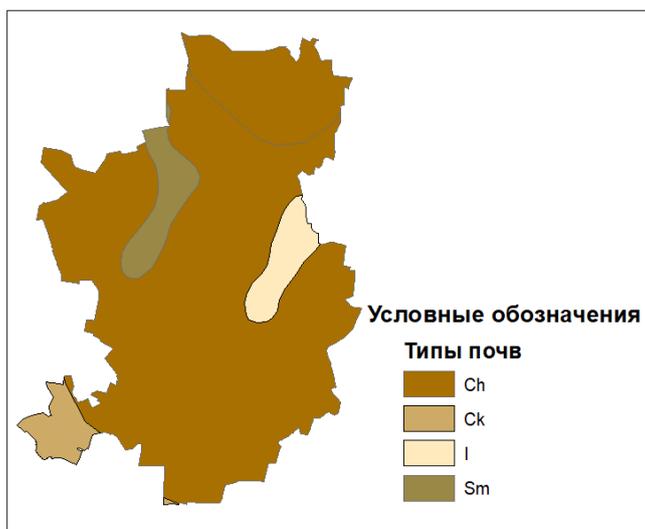


Рисунок 5 – Почвенная карта

Климатические данные напрямую влияют на развитие пшеницы. Данные об осадках (рисунок 6) позволили учитывать засушливые периоды, что важно при прогнозировании урожая. Они также были использованы для интеграции в модели расчёта водного баланса и биопродуктивности. Результаты интерполяции, выполненные с использованием метода кригинга на основе данных о количестве атмосферных осадков, были дополнены ежемесячными компонентами переменных данных CRU TS версии 4.08 [15, с.1], в частности – показателями PRE (атмосферные осадки). Согласно представленным данным, среднегодовое количество осадков в районе Айыртау в 2023 году колебалось от 306,1 до 318,4 мм (рисунок 7).

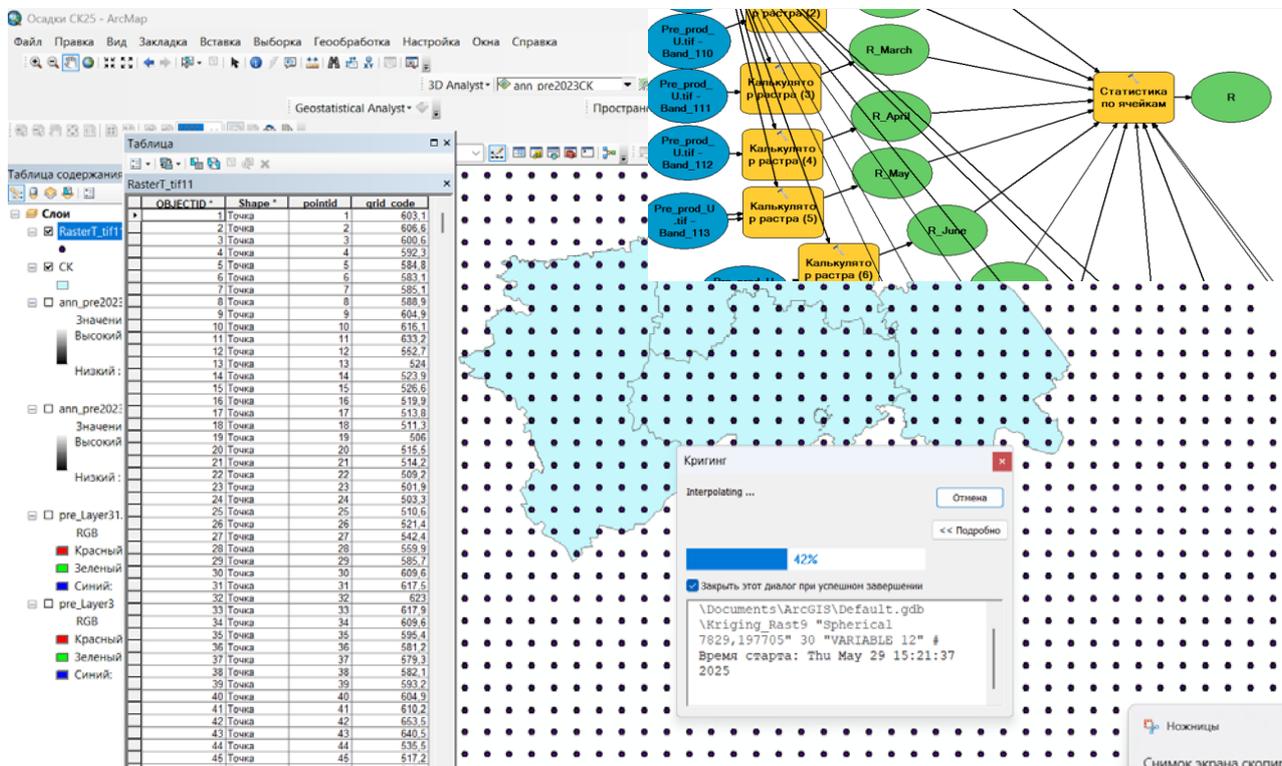


Рисунок 6 – ModelBuilder обработки статистических данных

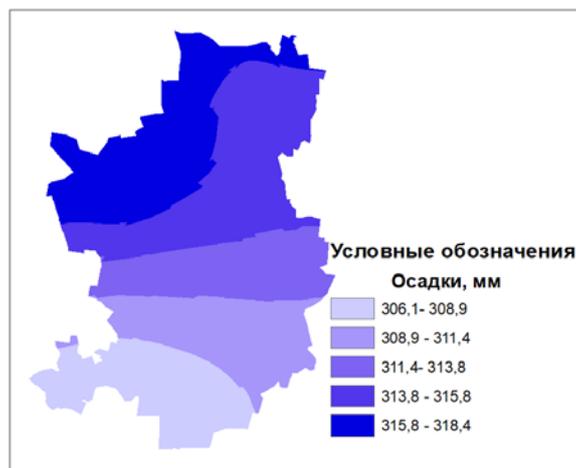


Рисунок 7 – Климатические данные

В рамках данного исследования для анализа структуры землепользования на территории Айыртауского района использовалась технология машинного обучения Support Vector Machine (SVM). Этот метод применялся с целью классификации сельскохозяйственных культур на основе спектральных признаков пикселей, полученных со спутниковых изображений Sentinel-2.

На этапе подготовки данных были вручную отобраны эталонные участки (training samples), соответствующие различным категориям земного покрова, включая пашни, пастбища естественного происхождения, лесные массивы, водные объекты (рисунок 8). Модель SVM, настроенная с использованием радиальной базисной функции, обеспечила высокую точность классификации за счёт способности эффективно разделять классы даже при сложных границах между ними.

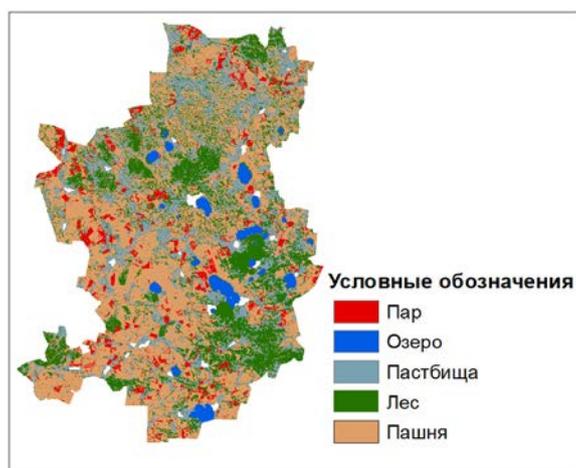


Рисунок 8 – Земельные угодья Айыртауского район Северо Казахстанской области

После завершения классификационного этапа было получено тематическое распределение типов землепользования, где каждый пиксель относился к конкретной категории. Для выделения только пашни (рисунок 10) из данной карты была использована функция CON в инструменте Spatial Analyst Tools, позволяющая задать условие и преобразовать результат в бинарное изображение. В полученном растре пиксели, относящиеся к пашне, имели значение 1, тогда как остальные территории были исключены (присвоены значения 0 или NoData). Эта операция позволила ограничить дальнейший анализ исключительно участками сельхозназначения, что особенно важно для последующей оценки урожайности зерновых культур, в частности пшеницы.

Важную роль при построении модели сыграли статистические данные по урожайности сельскохозяйственных культур, а также отчетные материалы хозяйств и сельскохозяйственных предприятий региона исследования за предшествующие годы. Средняя урожайность зерновых в 2023 году составила 11,5 ц/га [16, с.1]. Эти сведения стали основой для калибровки и валидации разработанной модели прогнозирования, а также позволили уточнить зависимости между значениями вегетационного индекса NDVI и фактическими показателями урожайности пшеницы. Для анализа пространственной вариативности продуктивности сельскохозяйственных угодий была выполнена визуализация фактических показателей урожайности в сопоставлении с значениями NDVI (рисунок 9). NDVI, рассчитанный на основе спутниковых снимков за вегетационный период, отражает уровень биомассы и физиологического состояния растительного покрова.

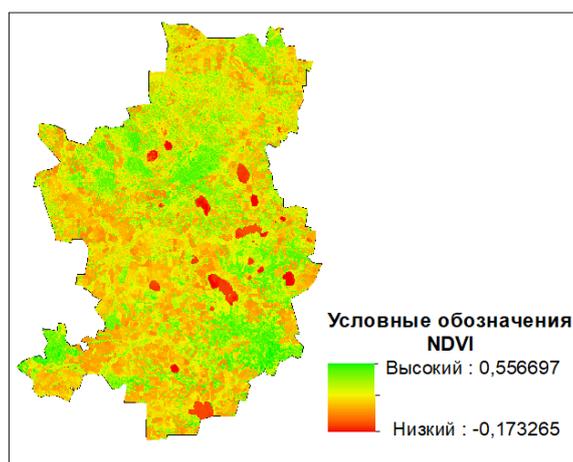


Рисунок 9 – Значение индекса NDVI

Фактические данные по урожайности (в ц/га) были привязаны к участкам с известными кадастровыми границами и объединены с соответствующими значениями NDVI, усреднёнными по каждому полю. Карта пространственного распределения позволяет проследить корреляцию между уровнем фотосинтетической активности (NDVI) и урожайностью – участки с более высокими значениями NDVI, как правило, демонстрируют высокие урожаи, что подтверждает применимость NDVI в качестве косвенного индикатора продуктивности сельхозугодий. Визуализация представлена в виде тематической карты (рисунок 10), где:

- участки с высоким значением NDVI и соответствующей высокой урожайностью отображаются зелёными оттенками;
 - зоны со средними значениями NDVI и средней урожайностью показаны оранжевыми и жёлтыми тонами;
 - участки с низкими значениями NDVI, а также земли под паром, представлены красными оттенками;
 - нанесены границы полей, что обеспечивает наглядную интерпретацию полученных данных.
- Данный подход позволяет не только оценить текущие показатели продуктивности, но и выявить проблемные участки, требующие дополнительного агрономического вмешательства.

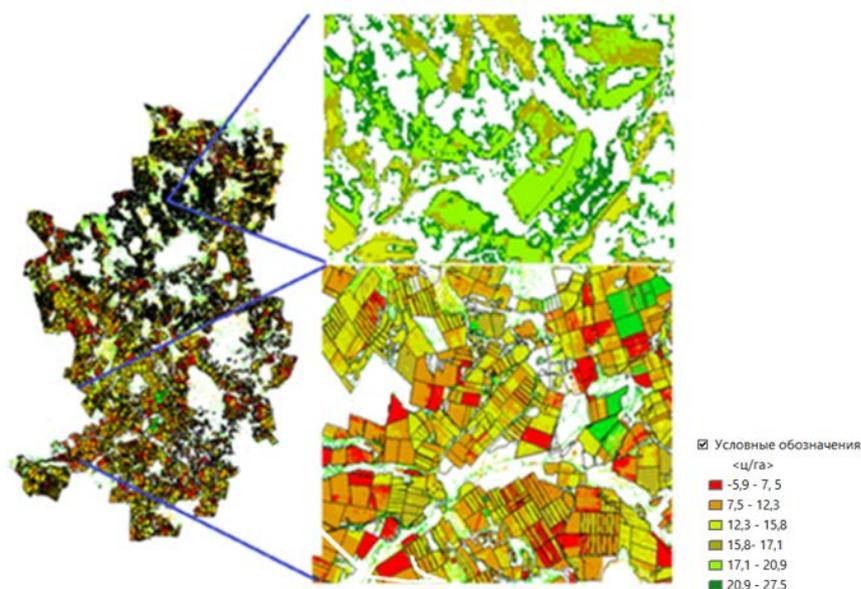


Рисунок 10 – Визуализация фактических показателей урожайности с индексом NDVI

Построенная модель позволила полностью охватить основные агроэкологические факторы, влияющие на урожайность, интеграция данных в пространственной модели обеспечивает более точные прогнозы и повышает обоснованность решений для агробизнеса – это основа для оптимизации посевных площадей, повышения рентабельности и минимизации рисков.

Заключение. Созданная в рамках исследования пространственная модель оценки и прогнозирования урожайности пшеницы, основанная на интеграции данных дистанционного зондирования

(NDVI), почвенно-климатических параметров и инструментов геоинформационного анализа в среде ArcGIS, показала высокую эффективность при применении к условиям Северного Казахстана.

Модель позволила комплексно учесть пространственно-временные особенности агроэкологических факторов, что обеспечило получение более точных и оперативных прогнозов урожайности по сравнению с традиционными статистическими подходами. Проведённый анализ выявил выраженную взаимосвязь между значениями NDVI и фактическими показателями урожайности, что подтверждает применимость спутниковых индексов в качестве индикаторов состояния посевов и инструментов для агропроизводственного планирования.

Ключевыми факторами, определяющими урожайность сельскохозяйственных культур в регионе, являются тип почвы, содержание гумуса, температурный режим и суммарное количество осадков в вегетационный период. Совокупное влияние этих компонентов формирует агропроизводственный потенциал территорий и обуславливает пространственную неоднородность урожайности.

Применение геоинформационных технологий и методов дистанционного зондирования Земли позволяет не только выявлять зоны с высоким и низким потенциалом продуктивности, но и минимизировать риски потерь урожая за счёт оперативного мониторинга состояния растительного покрова и использования прогностических моделей.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке агроэкологических зонирований, планировании структуры посевных площадей, управлении земельными ресурсами, а также при принятии решений в области устойчивого землепользования. Предложенный подход обладает высоким потенциалом для масштабирования и может быть адаптирован для других аграрных регионов Казахстана в рамках процесса цифровизации агропромышленного комплекса.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Cereal Supply and Demand Brief: Main Report** // Food and Agriculture Organization, 2023. – [Электронный ресурс]: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/ru> (дата обращения: 10.03.2025).
2. **USDA. Kazakhstan Grain and Feed Annual 2023**. – [Электронный ресурс]: <https://www.fas.usda.gov/data/kazakhstan-grain-and-feed-annual-9> (дата обращения: 10.03.2025).
3. **Казгидромет**. Климатический обзор Казахстана за 2023 год.– [Электронный ресурс]: https://www.kazhydromet.kz/uploads/calendar/192/year_file/6646ff553af2710-05-2024_obzor-osobennostey-klimata_kazahstan-za-2023.pdf (дата обращения: 16.05.2025).
4. **IPCC. Sixth Assessment Report: Impacts, Adaptation and Vulnerability** // Climate Change 2022. – [Электронный ресурс]: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (дата обращения: 10.03.2025).
5. **Nhu, A.N., Sahajpal R., Justice C., Becker-Reshef I.** Improving state-level wheat yield forecasts in Kazakhstan on GEOGLAM's EO data by leveraging a simple spatial-aware technique // ICLR Workshop Papers, 2023. – [Электронный ресурс]: <https://arxiv.org/abs/2306.04646>.
6. **Заболотских В., Вернер А., Шелаева Т.** Ученые НПЦЗХ провели мониторинг состояния посевов и прогнозную оценку урожайности зерновых культур в Акмолинской области // Baraev.kz. – 2021. – [Электронный ресурс]: <https://baraev.kz/novosti/2248-uchenye-npczh-proveli-monitoring-sostoyaniya-posevov-i-prognoznuyu-ocenku-urozhaynosti-zernovyh-kultur-v-akmolinskoy-oblasti.html> (дата обращения: 10.03.2025).
7. **Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций (ФАО).** Обзор продовольственной безопасности и питания в Казахстане, 2021 – Рим: ФАО, 2021. – [Электронный ресурс]: <https://openknowledge.fao.org/items/8daa5868-83cb-4ee2-b24d-7f9374bfffce8> (дата обращения: 10.04.2025).
8. **USGS EarthExplorer. Landsat 8 Operational Land Imager (OLI)** // United States Geological Survey. – 2023. – [Электронный ресурс]: <https://earthexplorer.usgs.gov> (accessed 10.03.2025).
9. **Copernicus Open Access Hub** // UN-SPIDER Knowledge Portal. – [Электронный ресурс]: <https://www.un-spider.org/links-and-resources/data-sources/copernicus-open-access-hub> (дата обращения: 10.03.2025).
10. **Sadenova M., Varbanov, P.S., Beisekenov N. Forecasting Crop Yields Based on Earth Remote Sensing Methods** [Текст] // Chemical Engineering Transactions. – 2022. – Vol. 92. – P. 691-696. DOI: 10.3303/CET2292116.
11. **Асанова, Г.А., Мерзляков, О.Э., Татаринцев, В.Л., Унышева, Н.К.** Анализ устойчивости агроландшафтов в лесостепной зоне Красноярского края и мероприятия по их охране [Текст] // Устойчивое развитие горных территорий. 2023. Т. 15, № 2. С. 264-274. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-264-274.
12. **FAO-ISRIC. Harmonized World Soil Database (HWSD)** // Food and Agriculture Organization of the United Nations. – 2023. – [Электронный ресурс]: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/hwsd> (дата обращения: 08.04.2025).
13. **FAO/UNESCO. Soil Map of the World** // FAO Soils Portal. – [Электронный ресурс]: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/> (accessed 08.04.2025).

14. **CRU TS v4.08. Climatic Research Unit Time-Series Data** // Global Rainfall Erosivity. – [Электронный ресурс]: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/> (accessed 08.04.2025).

15. **Социально-экономический паспорт Айыртауского района за январь – сентябрь 2023 г.** // gov.kz. – [Электронный ресурс]: <https://www.gov.kz/memleket/entities/mod/documents/details/470817?lang=ru> (дата обращения: 16.05.2025).

REFERENCES:

1. **Cereal Supply and Demand Brief: Main Report.** Food and Agriculture Organization, 2023, available at: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/ru> (accessed 10 March 2025).

2. **U.S. Department of Agriculture (USDA). Kazakhstan: Grain and Feed Annual 2023.** Available at: <https://www.fas.usda.gov/data/kazakhstan-grain-and-feed-annual-9> (accessed 10 March 2025).

3. **Kazgidromet. Klimaticheskij obzor Kazahstana za 2023 god** [Kazhydromet. Climate Overview of Kazakhstan for 2023]. Available at: https://www.kazhydromet.kz/uploads/calendar/192/year_file/6646ff553af2710-05-2024_obzor-osobennostey-klimata_kazahstan-za-2023.pdf (accessed 16 May 2025). (In Russian)

4. **IPCC. Sixth Assessment Report: Impacts, Adaptation and Vulnerability.** Climate Change 2022, available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (accessed 10 March 2025).

5. **A.N. Nhu, R. Sahajpal, C. Justice, I. Becker-Reshef Improving state-level wheat yield forecasts in Kazakhstan on GEOGLAM's EO data by leveraging a simple spatial-aware technique** ICLR Workshop Papers, 2023. Available at: <https://arxiv.org/abs/2306.04646> (accessed 10 March 2025).

6. **Zabolotskih V., Verner A., Shelaeva T. Ucheny'e NPCZH proveli monitoring sostoyaniya posevov i prognoznuyu ocenku urozhajnosti zernovy'h kul'tur v Akmolinskoj oblasti** [Scientists of the research and production center of grain farming conducted crop condition monitoring and yield forecasting of grain crops in the Akmola Region]. baraev.kz, 2021, available at: <https://baraev.kz/novosti/2248-uchenye-npczh-proveli-monitoring-sostoyaniya-posevov-i-prognoznuyu-ocenku-urozhajnosti-zernovyh-kultur-v-akmolinskoj-oblasti.html> (accessed 10 March 2025). (In Russian)

7. **Prodovol'stvennaya i sel'skhozajstvennaya organizaciya Ob"edinyonny'h Nacij (FAO). Obzor prodovol'stvennoj bezopasnosti i pitaniya v Kazahstane, 2021** [Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Food Security and Nutrition Overview in Kazakhstan, 2021]. FAO, 2021, available at: <https://openknowledge.fao.org/items/8daa5868-83cb-4ee2-b24d-7f9374bffe8> (accessed 10 April 2025). (In Russian)

8. **United States Geological Survey (USGS). EarthExplorer: Landsat 8 Operational Land Imager (OLI).** 2023, available at: <https://earthexplorer.usgs.gov> (accessed 10 March 2025).

9. **Copernicus Open Access Hub.** UN-SPIDER Knowledge Portal, available at: <https://www.un-spider.org/links-and-resources/data-sources/copernicus-open-access-hub> (accessed 10 March 2025).

10. **M. Sadenova, P.S. Varbanov, N. Beisekenov. Forecasting Crop Yields Based on Earth Remote Sensing Methods.** *Chemical Engineering Transactions*, 2022, vol. 92, pp. 691–696. DOI: 10.3303/CET2292116.

11. **Asanova G.A., Merzlyakov O.Je., Tatarincev V.L., Unysheva N.K. Analiz ustojchivosti agrolandshaftov v lesostepnoj zone Krasnoyarskogo kraja i meropriyatiya po ih ohrane** [Analysis of the stability of agricultural landscapes in the foreststeppe zone of the Krasnoyarsk region and measures for their protection]. *Ustojchivoe razvitie gorny'h territorij*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 264-274. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-264-274. (In Russian)

12. **FAO-ISRIC. Harmonized World Soil Database (HWSD).** Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023, available at: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/hwsd> (accessed 08 April 2025).

13. **FAO/UNESCO. Soil Map of the World.** FAO Soils Portal, available at: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/> (accessed 08 April 2025).

14. **CRU TS v4.08. Climatic Research Unit Time-Series Data.** Global Rainfall Erosivity, available at: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/> (accessed 08 April 2025).

15. **Social'no-e'konomicheskij pasport Ajy'rtauskogo rajona za yanvar' – sentyabr' 2023 g.** [Socio-economic profile of the Ayrtau district for January – September 2023.]. Gov.kz, available at: <https://www.gov.kz/memleket/entities/mod/documents/details/470817?lang=ru> (accessed 16 May 2025). (In Russian)

Сведения об авторах:

*Унышева Нурлыгуль Кошербаевна** – докторант кафедры землеустройства, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, пр. Жеңіс, 62а, тел.: 87075953005, e-mail: nurlygul_kosherbayevna@mail.ru.

Макенова Сауле Кажаловна – доктор PhD, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой землеустройства, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им.

С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, пр. Жеңіс, 62а, тел.: +79131517525; e-mail: saule_makenova@mail.ru.

Бабкенова Лаззат Темерхановна – аспирант кафедрасы кадастр, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», Российская Федерация, 630108, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, тел.: 87071292663, e-mail: babkenl@yandex.ru.

Унышева Нурлыгуль Кошербаевна* – жерге орналастыру кафедрасының докторанты, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 010000 Астана қ., Жеңіс даңғ, 62а, тел.: 87075953005, e-mail: nurlygul_kosherbayevna@mail.ru.

Макенова Сауле Кажаловна – PhD докторы, қауымдастырылған профессор, жерге орналастыру кафедрасының меңгерушісі, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 010000 Астана қ., Жеңіс даңғ, 62а, тел.: +79131517525, e-mail: saule_makenova@mail.ru.

Бабкенова Лаззат Темерхановна – аспирант, «Сібір геожүйелер және технологиялар мемлекеттік университеті кадастр кафедрасының аспиранты» ЖБ ФМБОМ, Ресей Федерациясы, 630108, Новосибирск қ., Плеханова көш, 10, тел.: 87071292663, e-mail: babkenl@yandex.ru.

Unysheva Nurlygul Kosherbayevna* – PhD student, Department of land management, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62a Zhenis Ave., tel.: 87075953005, e-mail: nurlygul_kosherbayevna@mail.ru.

Makenova Saule Kazhapovna – PhD, Associate Professor, Head of the Department of land management, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62a Zhenis Ave., tel.: 89131517525, e-mail: saule_makenova@mail.ru.

Babkenova Lazzat Temerkhanovna – Postgraduate student, Department of cadastre, Siberian State University of Geosystems and Technologies, Russian Federation, 630108, Novosibirsk, 10 Plakhotnyi Str., tel.: 87071292663, e-mail: babkenl@yandex.ru.

XФТАР 68.41.31

ӨОЖ 504.064:631.95

<https://doi.org/10.52269/KGTD2531280>

СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН СУ ҚОЙМАЛАРЫНЫҢ ТҮПТІК ШӨГІНДІЛЕРІН АГРОЭКОЛОГИЯЛЫҚ БАҒАЛАУ – АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ МАҚСАТЫНДАҒЫ СУ ҚОЙМАЛАРЫН МОНИТОРИНГТЕУДІҢ БІР ЭЛЕМЕНТІ РЕТІНДЕ

Чашков В.Н.* – химия магистрі, ҚБ ҒЗИ физика-химиялық және технологиялық зерттеулер зертханасының зертхана меңгерушісі, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Тастемирова А. Б. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Тауакелов Ч.А. – педагогика ғылымдарының магистрі, «8D05301 Химия» БББ докторанты, Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды қ., Қазақстан Республикасы.

Дарибаева С.А. – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, жаратылыстану-ғылыми пәндер кафедрасының аға оқытушысы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Мақала Қазақстан Республикасының аумағында орналасқан Жоғарғы Тобыл және Қаратомар су қоймаларының жағалау аймағындағы түптік шөгінділерді кешенді зерттеу нәтижелеріне арналған. Сынамалар қыс мезгілінде тұрақты мұз жамылғысы жағдайында алынып, деректердің репрезентативтілігін қамтамасыз етті. Негізгі назар түптік шөгінділердің минералдық негізін құрайтын маңызды макроэлементтер – калий мен фосфор қосылыстарының құрамын талдауға аударылды. Калий оксидтерінің басым екендігі анықталды, бұл тұщы су айдындары бойынша бұрын жарияланған деректерге сәйкес келеді.

Зерттеу аясында төмен температура жағдайында тиімді болып табылатын рентгенфлуоресценттік спектроскопия әдісін қолдана отырып, түптік шөгінділердің химиялық құрамын жедел талдаудың әдістері сыналып, бейімделді. Алынған нәтижелер БҰҰ ЕЭК жұмыс тобы әзірлеген трансшекаралық және халықаралық көлдерді мониторингтеу мен бағалаудың нұсқаулық қағидаларына сәйкес келеді.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы ауыл шаруашылығында пайдаланылатын су қоймаларын тұрақты экологиялық мониторингтеудің ғылыми негізделген базасын қалыптастыруда жатыр. Ұсынылған деректер қоңыржай климатты өңірлердегі ағынды су қоймаларының түптік