

Анализ распределения индекса NDVI на посевной площади пашни Республики Хакасия по данным дистанционного зондирования Земли

Е. В. Пинясова, Е. В. Павлова

*Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова
Абакан, 655000, Россия
E-mail: eve21@yandex.ru*

В настоящее время оценка состояния сельскохозяйственных угодий с помощью данных дистанционного зондирования Земли стала одним из перспективных направлений для решения научных и прикладных задач. Цель работы заключается в идентификации и анализе состояния пашней и полей под паром в течение вегетационного периода 2022 г. с использованием данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий путём вычисления нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI (*англ.* Normalized Difference Vegetation Index) на территории Ширинского р-на Республики Хакасия. С помощью геоинформационной системы ArcMap 10.2.1 были созданы картографические материалы. С использованием данных полевых исследований, многозональных снимков космических аппаратов «Канопус-В», Sentinel-2, Landsat-8, а также облачных сервисов и геоинформационных ресурсов проанализированы космические снимки сверхвысокого и высокого разрешения IKONOS, WorldView. Представлены результаты визуального и автоматического дешифрирования по методу максимального подобия для идентификации посевов овса, ячменя и полей под паром. Выполнен анализ зональной статистики распределения NDVI с мая по октябрь. При выявлении разности на участках посевов учитывались данные климатических параметров (температура, осадки), в том числе рассчитан гидротермический коэффициент для трёх периодов по методике И. В. Свисюка. В результате анализа полученных данных были выявлены различия в дешифрировании полей с пшеницей, овсом и паром. Было определено, что на первом тестовом участке под пашню с овсом было отведено семь кулис, а под парами находилось восемь кулис. Для второго участка характерно равное количество кулис: шесть кулис находилось под парами и шесть засеяно пшеницей. Особенностью развития овса стал минимальный индекс в конце июля (0,19), а также всплеск показателя (до 0,36) в сентябре, что можно объяснить вегетацией сорной растительности и наличием стерни. Для пшеничных полей таких особенностей не выявлено, однако средний показатель по всем месяцам выше на $0,03 \pm 0,001$ по сравнению с посевами овса.

Ключевые слова: пашня, растительность Республики Хакасия, геоинформационные системы, данные дистанционного зондирования, геоэкология, карта, NDVI

Одобрена к печати: 03.05.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-121-130

Введение

На территории Республики Хакасия одно из ведущих отраслей экономики — сельское хозяйство. В настоящее время существует Государственная программа «Развитие агропромышленного комплекса Республики Хакасия и социальной сферы на селе», в которой определены цели и направления развития сельского хозяйства (Об утверждении..., 2024). Одним из ключевых направлений в данной программе стала цифровизация отраслей и подотраслей агропромышленного комплекса, для которой характерно использование современных методов анализа и принятие быстрых решений на их основе.

Сегодня одним из эффективных методов оперативного мониторинга состояния посевов представляется использование данных дистанционного зондирования Земли. Помимо этого, для оценки состояния посевов, анализа продуктивности и прогноза динамики урожайности применяется расчёт и анализ сезонной динамики нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI (*англ.* Normalized Difference Vegetation Index). Наиболее подходящим инструментом для данных расчётов выступают географические информационные

системы (ГИС), а полученные в виде картографического материала результаты позволяют эффективно проводить анализ посевных площадей (Горохова и др., 2021; Кабжанова и др., 2022; Каракотов и др., 2023; Мартынова, Кравченко, 2023; Jespersen et al., 2023; Kurbanov et al., 2022).

Основная научная проблематика, которой посвящена наша работа, — распознавание посевных культур, в частности овса и пшеницы, в условиях Республики Хакасия. Целью нашего исследования стали идентификация и анализ состояния пашен и полей под паром в течение вегетационного периода 2022 г. с использованием данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий путём вычисления NDVI на территории Ширинского р-на Республики Хакасия. Следует отметить, что на территории республики проводилось изучение динамики NDVI как для участков настоящей степи (Шуркина и др., 2007), так и для посевов пшеницы с использованием данных от спутников Landsat-7 ETM+, Terra Modis (Пугачева, Шевырных, 2008).

При проведении исследований были выявлены некоторые проблемы. Во-первых, Республика Хакасия находится в зоне рискованного земледелия, что подразумевает резко континентальный климат, неравномерное выпадение осадков в течение периода вегетации растений и постоянные засухи (Чагин, 2015). Во-вторых, анализ данных дистанционного зондирования Земли, облачных сервисов и геопорталов (<https://apps.sentinel-hub.com>, <https://search.kosmosnimki.ru>, <https://gptl.ru>) показал недостаточное количество и периодичность данных, а также их высокую облачность и малое количество спутников высокого и сверхвысокого разрешения для анализа кулис малой площади (около 20–30 га). Кулисы представляют собой перемежающиеся полосы из двух-трёх рядов растений пашни и пара, расположенных в одном поле. В-третьих, на данный момент недостаточно исследований, проводимых с целью сравнения дешифрирования овса и пшеницы, в связи с трудностью их распознавания, поскольку наиболее высокая суммарная точность распознавания культур (около 85 %) установлена для коэффициентов отражения в ближней инфракрасной зоне спектра (Евтюшкин, Рычкова, 2007; Терехин, 2017). В-четвёртых, на территории Республики Хакасия подобных исследований ранее не проводилось.

Материалы и методы исследования

Характеристика природно-климатических параметров по температуре и осадкам проводилась на основе данных, полученных из архива ООО «Расписание Погоды» (<https://gp5.md>) с метеорологической станции «Шира ст. ж. д.», расположенной на расстоянии 11 км от села Целинное и 26–27 км от тестовых участков. Из 243 значений по осадкам и температуре за 2022 г. были рассчитаны средние значения за сутки и далее за месяц.

Для анализа природно-климатических характеристик нами был рассчитан показатель влагообеспеченности — гидротермический коэффициент (ГТК) по трём периодам в 2022 г. (Селянинов, 1928):

$$\text{ГТК} = \frac{R \times 10}{\sum t},$$

где R — сумма осадков (мм) в период с температурой воздуха выше $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\sum t$ — сумма значений температуры воздуха за тот же период ($^{\circ}\text{C}$); 10 — нормировочный коэффициент.

Разделение на отдельные периоды обосновано тем, что Республика Хакасия находится в зоне рискованного земледелия, климат в границах республики резко континентальный, а также отмечены частые засухи. Основой для разделения ГТК на периоды послужил опыт исследования И. В. Свисюка (1991). Поскольку его результаты было необходимо скорректировать с учётом территории исследования и периодов посева и уборки урожая на изучаемых участках, в рассмотрение были включены данные с мая по октябрь.

На основе данных, предоставленных ООО «Целинное», нами были выделены три вегетационных периода. В первый период (май — июнь) осуществляется высадка и формируется

урожайность яровых культур. Во втором периоде — с июля по август — происходит формирование зерновых, кормовых, технических и зернобобовых культур. В третьем периоде (сентябрь — октябрь) проходит уборка культур.

Для создания картографических материалов и растров NDVI проводилось визуальное и автоматическое дешифрирование космических снимков со спутника Sentinel-2 из облачного сервиса Sentinel Hub (<https://apps.sentinel-hub.com>). Использовались данные с геометрическим разрешением 10 м и уровнем обработки Level-2A. Были проанализированы все даты с мая по октябрь и выбрано семь безоблачных снимков за 2022 г. (11.05, 28.05, 10.06, 05.07, 06.08, 10.09, 15.10). Дополнительными источниками визуального дешифрирования границ полей и выявления засеянных территорий были многозональные снимки с космических аппаратов «Канопус-В», Landsat-8, IKONOS, WorldView, расположенные на облачных сервисах, геоинформационных ресурсах и геопорталах (ООО ИТЦ «СКАНЭКС», <https://search.kosmosnimki.ru>; ГК «Роскосмос», <https://gptl.ru>). Однако результаты изучения показали нерегулярность съёмки и недостаточное количество снимков для территории исследования.

В программе ArcMap 10.2.1 были созданы результирующие растры NDVI, рассчитанные по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{Red + NIR},$$

где NIR (*англ.* Near InfraRed) — отражение в ближней инфракрасной области спектра, канал B8, разрешение 10 м, центральная длина волны 842 нм; Red — отражение в красной области спектра, канал B4, разрешение 10 м, центральная длина волны 665 нм.

Далее был проведён расчёт зональной статистики (*рис. 1*).

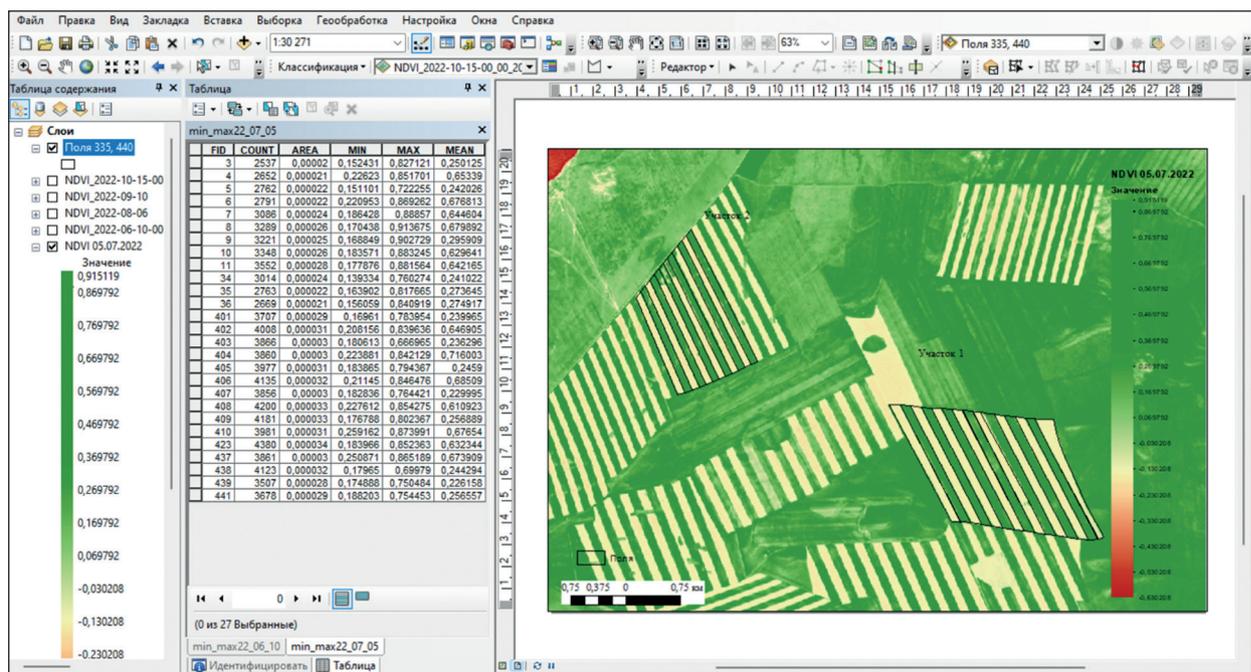


Рис. 1. Окно проекта с примером вычисления зональной статистики в виде фрагмента атрибутивной таблицы и вида данных со значением NDVI на участках исследования

Приложение ArcMap позволило вычислить зональную статистику, где в качестве входных данных использовались площадные векторные зоны кулис, результирующие растры NDVI, а в качестве полей выходных данных были использованы строковые поля векторного слоя кулис. В результате было получено семь атрибутивных таблиц за каждую дату с описательной статистикой каждой кулисы.

Далее в программе Microsoft Excel выполнена статистическая обработка полученных данных путём подключения дополнительной надстройки «пакет анализа» и рассчитаны средние значения NDVI для 27 кулис за семь дней по трём описательным статистикам: минимум (MIN), максимум (MAX), среднее (MEAN). Результаты статистической обработки объединялись с данными по кулисам с аналогичной культурой или полями под паром, и высчитывались среднее значение и среднеквадратическое отклонение, по которым были построены диаграммы (рис. 3–5).

Результаты и обсуждение

Территория исследования расположена в границах сельсовета Целинный Ширинского р-на Республики Хакасия. Преобладающие почвы на пашне хозяйства — южные и карбонатные чернозёмы. Климат территории резко континентальный, с холодной продолжительной зимой и коротким засушливым летом. Среднемесячная температура самого холодного месяца (января) составляет 18,8 °С, самого тёплого месяца (июля) — +17,6 °С. Среднегодовое количество осадков — 258 мм, их наибольшее количество выпадает в июле и августе, наименьшее — в январе и феврале. В весенне-летний период наблюдаются сильные засухи. Господствующие ветры — юго-западные. Рельеф холмисто-увалистый с глубокими впадинами и наличием солёных озёр (Березовский и др., 2011).

В нашей работе проведён сравнительный анализ двух участков хозяйства, где высажены овёс и пшеница. На участках изучается динамика индекса NDVI на кулисах с пашней, а также под паром. Индекс анализируется с мая, когда начинается подготовка и высадка культур, до октября, после уборки урожая. Общая площадь рассматриваемой территории составляет 538,6 га. На первом участке семь кулис под посевами, восемь кулис под паром, на втором участке шесть кулис под паром и шесть под посевами. Всего проанализировано 54,9 тыс. пикселей.

В связи с тем, что ГТК сильно варьируется в зависимости от периода, мы рассчитали его по трём периодам (таблица). Значения первого и второго периодов указывают на зону средней засухи, в третий период территория характеризуется как зона очень сильной засухи, когда значение $\leq 0,3$. Однако если рассматривать ГТК по Г. Т. Селянинову с мая по август, то территория характеризуется как зона обеспеченного увлажнения.

Результаты расчётов ГТК за 2022 г. по трём периодам вегетации

Показатели ГТК	Период вегетации		
	1 (май – июнь)	2 (июль – август)	3 (сентябрь – октябрь)
Сумма среднесуточной температуры более 10 °С	828,45	916,96	220,60
Сумма осадков за период среднесуточной температуры более 10 °С	62,00	106,80	3,80
ГТК	0,75	1,16	0,17
Среднее ГТК		0,70	
Суммарное ГТК		0,88	

За весь период изучения температурные характеристики существенно изменялись. К примеру, в мае температура была достаточно высокая и достигала 19,9–21,6 °С (рис. 2, см. с. 125). Наиболее низкие значения температуры составляли 3,8–4,5 °С. В июне она с достаточно низких величин повысилась до 21,9–25,4 °С. В июле температура снижалась до 10,1 °С и увеличивалась до 20,3 °С. Значительно высокой температурой характеризуются июль и август, где она достигала 26 °С и не опускалась ниже 9,9 °С. Начиная с августа температура снижалась от 20,3 °С со значительными колебаниями и в середине октября перешла рубеж 0 °С. Следует отметить, что в октябре температура варьировалась от максимальной 9,4 °С до минимальной –7 °С.

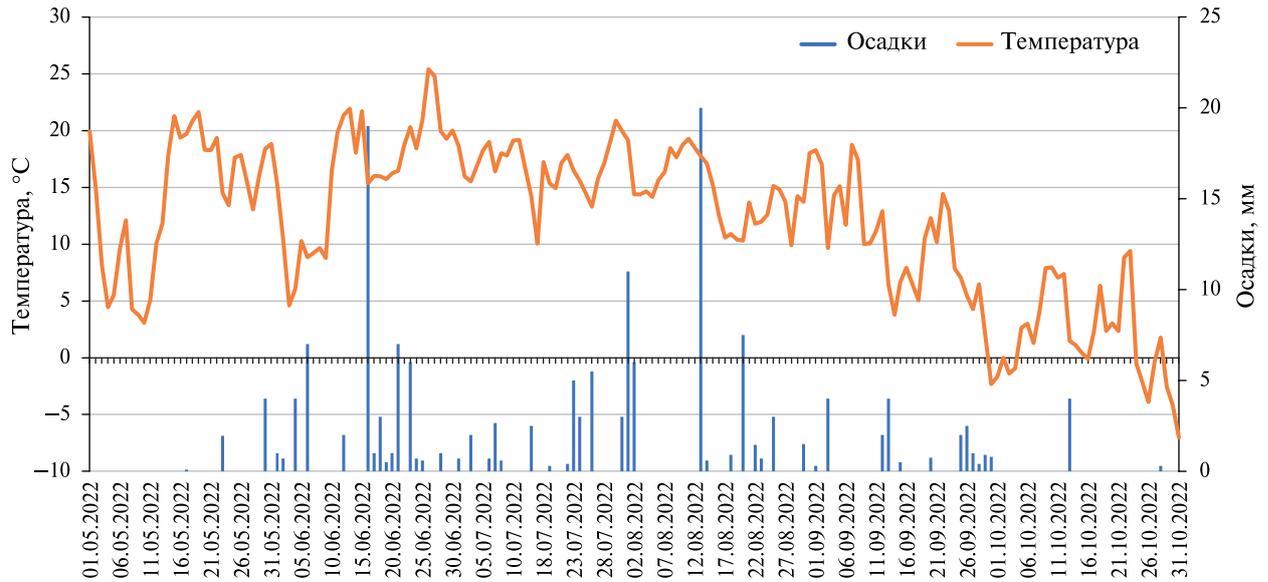


Рис. 2. Динамика температуры (°C) и осадков (мм) за период с мая по октябрь 2022 г.

Количество осадков с мая по июнь возрастает до 19,0 мм, однако в июле резко снижается и в среднем составляет 5,6 мм в день. Наибольшее количество осадков выпало в августе, где максимум был 20 мм в день. В период с сентября по октябрь количество осадков практически не снижалось и составило в среднем 3,8 мм в сутки.

Для идентификации и анализа состояния пашен и полей под паром в течение вегетационного периода были рассчитаны результирующие растры NDVI по семи датам с помощью геоинформационной системы ArcMap и вычислена зональная статистика по границе полей, которые были выделены по визуальному и автоматическому дешифрированию на двух тестовых участках.

В результате анализа минимальных значений вегетационного индекса ($NDVI_{min}$) на полях с посевами овса было выявлено, что они не превышали 0,26 в июле и 0,25 в сентябре (рис. 3а). Наибольшие значения $NDVI_{min}$ по всем месяцам в среднем для каждого из полей пашни были отмечены в июле и сентябре (0,21–0,22), а наименьшие — в июне и августе (0,14). Если рассматривать поля под паром, можно отметить пиковые значения $NDVI_{min}$ на разных кулисах в июле и сентябре (0,19). Среднемесячные показатели $NDVI_{min}$ практически все оставались на одном уровне — 0,16. Стандартное отклонение не превышает $\pm 0,03$ по всем месяцам, а в среднем достигает $\pm 0,01$.

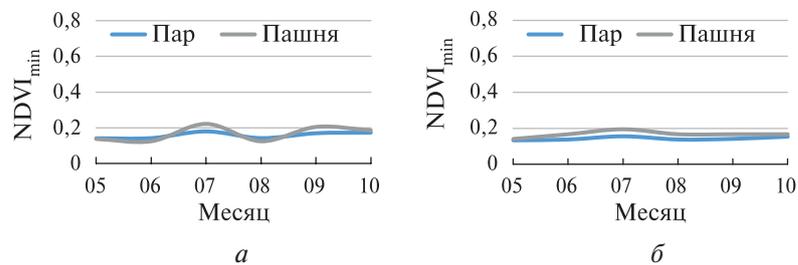


Рис. 3. Динамика значений $NDVI_{min}$ для полей, засеянных: а — овсом; б — пшеницей

Минимальные значения $NDVI_{min}$ на втором участке с пшеницей соответствуют 0,12–0,13 для пашни и полей под паром (рис. 3б). Среднее значение $NDVI_{min}$ по всем месяцам на полях составляет 0,17. Наибольшие значения $NDVI_{min}$ выявлены в июле для пашни — 0,23, и пара — 0,17. Стандартное отклонение не превышает $\pm 0,02$ для всех кулис.

Также были получены результаты максимальных значений индекса ($NDVI_{max}$) на первом участке (рис. 4а). С мая по июнь идёт незначительное увеличение показателя $NDVI_{max}$ на 0,11, далее — резкий скачок в июле на 0,48 по сравнению с предыдущим месяцем. В конце июля — начале августа наблюдается резкое снижение $NDVI_{max}$ до 0,37. Однако в сентябре отмечается увеличение $NDVI_{max}$ до $0,53 \pm 0,08$ по всем кулисам, и динамика индекса идёт на спад в октябре до минимального значения 0,29. Если анализировать данные чистого пара, то кривая значений $NDVI_{max}$ проходит очень близко к кривой значений пашни, однако превышает показатели в мае на 0,03 и в августе на 0,06. График максимальных значений $NDVI_{max}$ на кулисах под паром ниже на 0,09 только в июле и в среднем значение выше на $0,02 \pm 0,08$. Следует отметить, что максимальные значения индекса $NDVI_{max}$ наиболее ярко отражены на тестовом участке 1, где выявлено два их повышения в июле и сентябре.

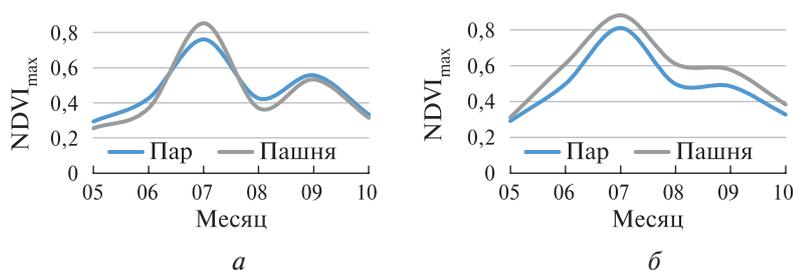


Рис. 4. Динамика значений $NDVI_{max}$ для первого и второго участков, засеянных: а — овсом; б — пшеницей

На участке 2 на пашне с мая значения индекса $NDVI_{max}$ резко снижаются, достигая минимальных 0,22, далее, к июлю, они увеличиваются до рекордных 0,91 (это связано с распашкой и началом посевной), затем растения достигают максимума развития (рис. 4б). Начиная с августа значения $NDVI_{max}$ постепенно снижаются. Из общей динамики выбиваются кулисы 7 и 8, где значение $NDVI_{max}$ в сентябре доходит до 0,83, что, вероятно, связано с засорением кулис сорняками. Если говорить о кулисах под парами, то значения $NDVI_{max}$ сохраняют динамику снижения с мая по июнь, в среднем на 0,12. Далее в июле $NDVI_{max}$ достигает максимальных значений 0,90, а в среднем по кулисам 0,81. На кулисах 9, 35 и 36 в сентябре выявлено увеличение значений до 0,64, которое на 0,12 выше, чем на других кулисах под парами. Данный скачок $NDVI_{max}$ свидетельствует о вегетационной активности и коррелирует с повышением температуры в сентябре до $14,4-20,3$ °С. Далее все значения $NDVI_{max}$ в октябре сводятся к минимуму, в среднем до 0,33.

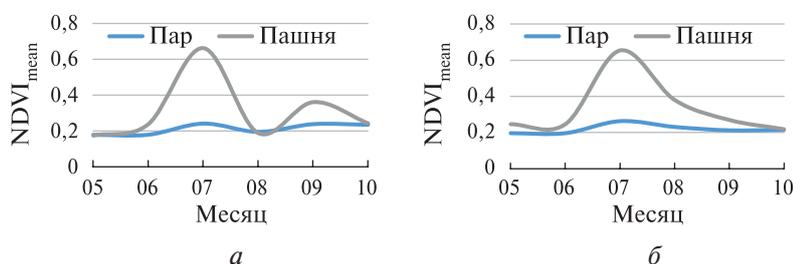


Рис. 5. Динамика значений $NDVI_{mean}$ с мая по октябрь 2022 г.: а — на участке 1 овёс яровой сорта «Ровесник»; б — на участке 2 пшеница яровая сорта КВС «Буран»

Затем рассмотрим усреднённые значения вегетационного индекса ($NDVI_{mean}$) по всем анализируемым кулисам (рис. 5). На первом участке для пашни наблюдается увеличение значений $NDVI_{mean}$ с минимума в мае (0,17) до пикового значения в июле (0,72) (см. рис. 5а). В конце июля — начале августа наблюдается снижение индекса $NDVI_{mean}$ до 0,19, свидетель-

ствующее об окончании периода вегетации. В период с сентября по октябрь происходит увеличение индекса $NDVI_{mean}$ до 0,38, что можно объяснить началом развития растений. Всплеск совпадает с интенсивными дождями, в среднем около 4 мм в сутки, и положительными значениями температуры. Для полей под парами данная динамика также сохраняется: минимальные значения $NDVI_{mean}$ выявлены в мае – июне (0,17–0,19), наибольшие значения отмечены в июле, сентябре и октябре (0,24). Стандартное отклонение для первого участка как для пара, так и для полей, засеянных овсом, составляет не более $\pm 0,01$.

Динамика вегетационного индекса $NDVI_{mean}$ для кулис, засеянных пшеницей на участке 2, соответствует изменениям, происходящим на кулисах, засеянных овсом на участке 1, с мая по июль (рис. 5б). На втором участке, в отличие от первого, с августа по сентябрь показатель $NDVI_{mean}$ равномерно снижается. Минимальные значения $NDVI_{mean}$ для кулис, засеянных пшеницей, соответствуют 0,22–0,25, максимальное — 0,68, однако для кулис, засеянных овсом, отдельные значения превышали данный показатель на 0,04. Отклонение $NDVI_{mean}$ от среднего значения кулис, засеянных пшеницей, составляет от $\pm 0,03$ до $\pm 0,01$.

Чистый пар на участке 2 характеризуется незначительными колебаниями значений $NDVI_{mean}$. Минимальное значение данных $NDVI_{mean}$ выявлено в мае, где оно составляет 0,25, и в октябре — 0,22, что свидетельствует о низкой вегетации либо отсутствии растительности, как в нашем случае. Максимальное значение $NDVI_{mean}$ было выявлено в июле — 0,26, однако это также свидетельствует о значительном развитии растений. После прохождения пикового значения показатель $NDVI_{mean}$ вплоть до октября плавно снижается.

Выводы

Для детальной характеристики природно-климатических условий был рассчитан гидротермический коэффициент за три периода в 2022 г.: 1) май – июнь (0,75); 2) июль – август (1,16), 3) сентябрь – октябрь (0,17). Значения первого и второго периодов указывают на зону средней засухи, в третий период территория характеризуется как зона очень сильной засухи. Индекс ГТК, рассчитанный по Селянинову для периода май – август, позволяет утверждать, что территория характеризуется как зона обеспеченного увлажнения.

В результате работы проведено картирование изучаемых участков в ГИС-проекте, проанализировано около 54 тыс. пикселей, что соответствует 538,6 га. Зональная статистика была рассчитана для семи дней, охарактеризованы $NDVI_{min}$, $NDVI_{max}$ и $NDVI_{mean}$. Было определено, что на первом участке под парами находятся кулисы 401, 403, 405, 407, 409, 438, 439, 441, под поля с овсом были отведены кулисы 402, 404, 406, 408, 410, 423, 437. Для второго участка характерно равное количество распределения кулис: шесть из них находятся под парами (3, 5, 9, 34, 35, 36) и шесть засеяны пшеницей (4, 6, 7, 8, 10, 11).

Для кулис, засеянных овсом, помимо высоких показателей в июле, выявлен пик значений в сентябре, соответствующий положительной температуре от 20 до 0 °С, в среднем температура в сентябре – октябре составила 5,8 °С. Количество осадков было в этот период незначительным, но постоянным: в среднем 1,68 мм в сутки.

В результате анализа полученных данных были выявлены различия в дешифрировании полей под паром, а также засеянных пшеницей и овсом. На втором участке, где произрастает пшеница, наблюдается куполообразная форма кривой NDVI и среднее значение $NDVI_{mean}$ составило 0,66. С июля по сентябрь наблюдается медленное снижение индекса, что свидетельствует о созревании и окончании периода вегетации. Для полей под паром характерно постепенное увеличение показателя NDVI с мая по июль, который доходит до максимума NDVI — 0,30 и далее снижается вплоть до октября. Отклонение от среднего значения для пара в мае и июне составляет $\pm 0,03$, в июле $\pm 0,02$, а в августе и сентябре $\pm 0,01$.

Исследование выполнено за счёт средств гранта Российского научного фонда № 22-17-20012 (<https://rscf.ru/project/22-17-20012/>) при паритетной финансовой поддержке Правительства Республики Хакасия.

Литература

1. *Березовский А. Я., Владимиров В. В., Дмитриев В. Е., Родыгин С. А.* Природа Ширинского района Республики Хакасия: Физико-географический очерк. Абакан: ООО «Кооператив Журналист», 2011. 232 с.
2. *Горохова И. Н., Чурсин И. Н., Хитров Н. Б., Панкова Е. И.* Распознавание сельскохозяйственных угодий по космическим снимкам // Экосистемы: экология и динамика. 2021. Т. 5. № 3. С. 5–33. DOI: 10.24412/2542-2006-2021-3-5-33.
3. *Евтюшкин А. В., Рычкова Н. В.* Распознавание видового состава зерновых культур на многовременных радарных космоснимках ERS-2 // Материалы 10-й Региональной конф. по математике МАК-2007. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2007. С. 60–62.
4. *Кабжанова Г. Р., Курмашева А. Ж., Алибаева М. Т., Бисембаев А. Т.* Космические снимки как один из инструментов оценки состояния пастбищных угодий Казахстана // Аграр. наука. 2022. № 5. С. 49–53. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-359-5-49-53.
5. *Каракотов С. Д., Прянишников А. И., Титов В. Н. и др.* К вопросу использования индексной оценки NDVI в селекционной практике по озимой пшенице // Вестн. аграр. науки. 2023. № 3(102). С. 7–17. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2023.3.7.
6. *Мартынова Н. Г., Кравченко В. Г.* Мониторинг сельскохозяйственных земель по данным дистанционного зондирования Земли // Intern. Agricultural J. 2023. № 1. С. 69–86. DOI: 10.55186/25876740_2023_7_1_7.
7. Об утверждении государственной программы Республики Хакасия «Развитие агропромышленного комплекса Республики Хакасия и социальной сферы на селе»: Постановление Правительства Республики Хакасия от 19.11.2012. № 781 (в ред. от 29 января 2024 года). <https://docs.cntd.ru/document/453366265?ysclid=lsul33kpgk284079468&>.
8. *Пугачева И. Ю., Шевырногов А. П.* Изучение динамики NDVI посевов сельскохозяйственных культур на территории Красноярского края и Республики Хакасия // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5. № 2. С. 347–351.
9. *Свисюк И. В.* Агрометеорологические прогнозы, расчеты, обоснования / Северо-Кавк. территор. упр. по гидрометеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 191 с.
10. *Селянинов Г. Т.* О сельскохозяйственной оценке климата // Тр. по с.-х. метеорологии. 1928. Вып. 20. С. 165–177.
11. *Терехин Э. А.* Применение дискриминантного анализа для распознавания посевов сельскохозяйственных культур // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 7. С. 89–99. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-7-89-99.
12. *Чагин В. В.* Столовая свёкла — важное звено в структуре севооборота сухостепной зоны Республики Хакасия // Вестн. ХГУ им. Н. Ф. Катанова. 2015. № 13. С. 112–114.
13. *Шуркина А. И., Зоркина Т. М., Шевырногов А. П.* Исследование современного растительного покрова Республики Хакасия на основе интеграции спутниковых и наземных данных // Вестн. КрасГАУ. 2007. № 5. С. 65–71.
14. *Jespersen R. G., Anderson-Smith M., Sullivan P. F. et al.* NDVI changes in the Arctic: Functional significance in the moist acidic tundra of Northern Alaska // PLoS one. 2023. V. 18. No. 4. Article e0285030. 20 p. DOI: 10.1371/journal.pone.0285030.
15. *Kurbanov R., Zakharova N., Sidorenko V., Vilyunov S.* The Use of Vegetation Indices in Comparison to Traditional Methods for Assessing Overwintering of Grain Crops in the Breeding Process // 2nd Intern. Conf. Artificial Intelligence and Power Engineering. Moscow, 17–19 Dec. 2021. Moscow: Springer Nature Switzerland AG. 2022. V. 119. P. 52–64. DOI: 10.1007/978-3-030-97064-2_6.

Analysis of the distribution of the NDVI index on the arable land area of the Republic of Khakassia according to remote sensing data

E. V. Pinyasova, E. V. Pavlova

Khakassian State University, Abakan 655000, Russia

E-mail: eve21@yandex.ru

Currently, the assessment of the state of agricultural land using remote sensing data is one of the promising areas for solving scientific and applied problems. The aim of the work was to identify and analyze the condition of arable land and fallow fields during the growing season of 2022 using remote sensing data and geographic information technologies by calculating the normalized difference vegetation index (NDVI) in the territory of the Shirinsky district of the Republic of Khakassia. Cartographic materials were created using the geographic information system ArcMap 10.2.1. Using field research data, multizone images were analyzed of Canopus-B, Sentinel-2, Landsat-8, as well as cloud services and geographic information resources, ultra-high and high-resolution satellite images of IKONOS and WorldView were analyzed. The article presents the results of visual and automatic decoding using the maximum similarity method to identify oat, barley and fallow fields. The analysis of the zonal statistics of the NDVI distribution from May to October was performed. When identifying the difference in the areas of crops, the data of climatic parameters (temperature, precipitation) were taken into account, including the hydrothermal coefficient (HTC) which was calculated for three periods according to the method by I. V. Sivisyuk. As a result of the analysis of the data obtained, differences in the decryption of fields with wheat, oat and fallow fields were revealed. It was determined that in the first test area 7 coulisses were allocated for arable land with oats, and there were 8 coulisses for fallow fields. The second section was characterized by an equal amount of coulisses: 6 coulisses were for fallow fields, 6 were sown with wheat. A feature of the development of oats was the minimum index at the end of July (0.19), as well as a spike in the index to 0.36 in September, which can be explained by the vegetation of weeds and the presence of stubble. No such features were found for wheat fields, however, the average for all months was 0.03 ± 0.001 higher than for oat crops.

Keywords: arable land, vegetation of the Republic of Khakassia, geographic information systems, remote sensing data, geoecology, map, NDVI

Accepted: 03.05.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-121-130

The materials were prepared as part of the grant of the Russian Science Foundation No. 22-17-20012 (<https://rscf.ru/project/22-17-20012/>) with the parity financial support of the Government of the Republic of Khakassia.

References

1. Berezovsky A. Ya., Vladimirov V. V., Dmitriev V. E., Rodygin S. A., *Priroda Shirinskogo raiona Respubliki Khakassiya: fiziko-geograficheskii ocherk* (The nature of the Shirinsky district of the Republic of Khakassia: a physical and geographical essay), Abakan: Cooperative Journalist LLC, 2011, 232 p. (in Russian).
2. Gorokhova I. N., Chursin I. N., Khitrov N. B., Pankova E. I., Recognition of agricultural lands from satellite images, *Ecosystems: ecology and dynamics*, 2021, No. 5(3), pp. 5–33 (in Russian), DOI: 10.24412/2542-2006-2021-3-5-33.
3. Yevtyushkin A. V., Rychkova N. V., Recognition of the species composition of grain crops on multi-time radar satellite images ERS-2, *Materialy 10-i Regional'noi konferentsii po matematike MAK-2007* (Proc. 10th Regional Conference on Mathematics IAC-2007), 2007, pp. 60–62 (in Russian).
4. Kabzhanova G. R., Kurmasheva A. Zh., Alibayeva M. T., Bisembayev A. T., Satellite images as one of the tools for assessing the state of pasture lands in Kazakhstan, *Agricultural science*, 2022, No. 5, pp. 49–53 (in Russian), DOI: 10.32634/0869-8155-2022-359-5-49-53.
5. Karakotov S. D., Pryanishnikov A. I., Titov V. N. et al., On the issue of using the NDVI index score in breeding practice for winter wheat, *Bull. Agrarian Science*, 2023, No. 3(102), pp. 7–17 (in Russian), DOI: 10.17238/issn2587-666X.2023.3.7.
6. Martynova N. G., Kravchenko V. G., Remote sensing satellite image-based monitoring of agricultural lands, *Intern. Agricultural J.*, 2023, No. 1. pp. 69–86 (in Russian), DOI: 10.55186/25876740_2023_7_1_7.

7. On approval of the state program of the Republic of Khakassia “Development of the agro-industrial complex of the Republic of Khakassia and the social sphere in rural areas”, Resolution of the Government of the Republic of Khakassia dated 11.19.2012, No. 781 (as amended dated January 29, 2024), <https://docs.cntd.ru/document/453366265?ysclid=lsul33kpgk284079468&>, (in Russian).
8. Pugacheva I. Yu., Shevyrnogov A. P., Studying the dynamics of NDVI crops in the Krasnoyarsk Territory and the Republic of Khakassia, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2008, Vol. 5, No. 2, pp. 347–351 (in Russian).
9. Svisyuk I. V., *Agrometeorologicheskie prognozy, raschety, obosnovaniya* (Agrometeorological forecasts, calculations, justifications), Severo-Kavkazskoe territorial'noe upravlenie po gidrometeorologii, Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991, 191 p. (in Russian).
10. Selyaninov G. T., On agricultural climate assessment, *Proc. Agricultural Meteorology*, 1928, Issue 20, pp. 165–177 (in Russian).
11. Terekhin E. A., Application of discriminant analysis for recognition of crops, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 7, pp. 89–99 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-7-89-99.
12. Chagin V. V., Table beet is an important link in the structure of crop rotation in the dry steppe zone of the Republic of Khakassia, *Vestnik KHSU*, 2015, No. 13, pp. 112–114 (in Russian).
13. Shurkina A. I., Zorkina T. M., Shevyrnogov A. P., The study of the modern vegetation cover of the Republic of Khakassia based on the integration of satellite and ground data, *Bull. KrasGAU*, 2007, No. 5, pp. 65–71 (in Russian).
14. Jespersen R. G., Anderson-Smith M., Sullivan P. F. et al., NDVI changes in the Arctic: Functional significance in the moist acidic tundra of Northern Alaska, *PLoS One*, 2023, Vol. 18, No. 4, Article e0285030, 20 p., DOI: 10.1371/journal.pone.0285030.
15. Kurbanov R., Zakharova N., Sidorenko V., Vilyunov S., The Use of Vegetation Indices in Comparison to Traditional Methods for Assessing Overwintering of Grain Crops in the Breeding Process, *2nd Intern. Conf. Artificial Intelligence and Power Engineering*, Moscow, 17–19 Dec. 2021, Moscow: Springer Nature Switzerland AG, 2022, Vol. 119, pp. 52–64, DOI: 10.1007/978-3-030-97064-2_6.