

Оригинальная статья

УДК 551.571:631.432.2(574)

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-95-102>



ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ УВЛАЖНЕНИЯ ЛАНДШАФТОВ АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ

*Мезенцева Ольга Варфоломеевна*¹, д-р геогр. наук, доцент;

<https://orcid.org/0000-0003-1982-2234>; SPIN-код: 7137-7557; AuthorID: 63654; mezolga@yandex.ru

*Кусаинова Айсулу Амирхановна*²✉, канд. геогр. наук;

<https://orcid.org/0000-0002-4524-3765>; SPIN-код: 2460-8200; AuthorID: 809958; aimarh@mail.ru

¹ Омский государственный педагогический университет; 644099, г. Омск, наб. Тухачевского, 14, Россия

² Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова; 100027, г. Караганда, пр. Нурсултан Назарбаев, 56, Республика Казахстан

Аннотация. Целью исследований являлось выявление особенностей многолетней изменчивости состояния увлажнения растительного и почвенного покрова степной зоны Северного Казахстана. Для выявления особенностей изменчивости состояния естественного увлажнения ландшафтов (растительности и почвы) в течение вегетационного периода многолетнего интервала времени (с 1976 по 2020 гг.) проанализированы данные спутниковых снимков территории долины реки Ишим и города Атбасар, расположенного в Акмолинской области Республики Казахстан. На основе данных многолетних метеорологических наблюдений и по результатам дешифрирования спутниковых снимков охарактеризована изменчивость индекса влажности NDMI (нормализованный разностный индекс увлажнения растительности и почв) за 44 года за период 1976-2020 гг. Индекс влажности NDMI имеет повышенные значения и интенсивность окраски на снимках при температуре воздуха ниже нормы (или вблизи нормы) и сумме осадков выше нормы для данной территории. Индекс влажности NDMI имеет пониженные значения при температуре воздуха выше нормы (или вблизи нормы) и сумме осадков ниже нормы для данной территории. Низкой степени увлажнения растительности и почвы на момент спутниковой съемки предшествует засушливый предыдущий 30-дневный период (как и наоборот). Предложена цветовая шкала градации значений индекса влажности NDMI для использования при оценке влажности ландшафтов Акмолинской области и прилегающих территорий северной части Казахстана.

Ключевые слова: увлажнение ландшафтов, индекс влажности NDMI, температура воздуха, сумма осадков, растительность, почва

Формат цитирования: Мезенцева О.В., Кусаинова А.А. Особенности многолетней изменчивости увлажнения ландшафтов Акмолинской области Республики Казахстан по данным спутниковой съемки // Природообустройство. 2023. № 5. С. 95-102. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-95-102>

© Мезенцева О.В., Кусаинова А.А., 2023

Original article

FEATURES OF LONG-TERM VARIABILITY OF HUMIDIFICATION OF LANDSCAPES OF THE AKMOLA REGION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN ACCORDING TO SATELLITE IMAGERY

*Mezentseva Olga Varfolomeevna*¹, doctor of geographical sciences, associate professor,

<https://orcid.org/0000-0003-1982-2234>; SPIN code: 7137-7557; AuthorID: 63654; mezolga@yandex.ru

*Kusainova Aisulu Amirkhanovna*²✉, candidate of geographical sciences;

<https://orcid.org/0000-0002-4524-3765>; SPIN code: 2460-8200; AuthorID: 809958; aimarh@mail.ru

¹ Omsk State Pedagogical University; 644099, Omsk, nab. Tukhachevsky, 14, Russia

² Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov; 56, Nursultan Nazarbayev Ave., Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan

Abstract. The aim of the study is to identify features of long-term variability of the moisture state of the vegetation and soil cover of the steppe zone of northern Kazakhstan. To identify the peculiarities of the variability of the state of natural humidification of landscapes (vegetation and soil) during

the growing season of the long-term time interval (from 1976 to 2020), data from satellite images of the territory of the Ishim River Valley and the city of Atbasar, located in the Akmola region of the Republic of Kazakhstan, were analyzed. Based on the data of long-term meteorological observations and on the results of decryption of satellite images, the variability of the NDMI humidity index (normalized difference index of moisture in vegetation and soils) for 44 years for the period 1976-2020 was characterized. The NDMI humidity index has increased values and intensity of color in the images at the air temperature below the norm (or near the norm) and the amount of precipitation above the norm for this territory. The NDMI humidity index has lower values at air temperatures above normal (or near normal) and the sum of precipitation below normal for a given territory. The low degree of moisture in vegetation and soil at the time of satellite survey is preceded by the arid previous 30-day period (also vice versa). A color scale of gradation of the NDMI humidity index values for use in assessing the humidity of the landscapes of Akmola region and adjacent territories of the northern part of Kazakhstan is proposed.

Key words: humidification, NDMI humidity index, air temperature, total precipitation, vegetation, soil

Format of citation: Meentseva O.V., Kuscainova A.A. Features of long-term variability of humidification of landscapes of the Akmola region of the Republic of Kazakhstan according to satellite imagery // *Prirodoobustrojstvo*, 2023. № 5. P. 95-102. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-95-102>

Введение. Современные методы анализа индексов влажности ландшафтов (растительности и почв) с использованием данных спутниковой съемки являются новым инструментом, обеспечивающим многолетнюю информацию о состоянии увлажнения растительности и почв, а также используемым при выявлении засух и определении результатов их воздействия. Объектом исследований являются спектральные характеристики и особенности многолетней изменчивости состояния растительного покрова степной зоны Северного Казахстана, наиболее уязвимой к воздействию климатических и антропогенных факторов.

Для выявления закономерностей их изменения, в том числе при засушливых условиях, выбрана территория района г. Атбасар и долины реки Ишим, расположенная в степной природной зоне северной части Казахстана. Проведенные ранее исследования [1] показывают усиление в последние десятилетия стрессового воздействия засушливых условий на состояние увлажнения растительности и почв степной зоны Казахстана.

В статье с использованием космических снимков оценены текущие пространственные изменения увлажнения растительности и почв степной зоны в связи с ростом частоты засух в период с 1976 по 2020 гг.

Материалы и методы исследований. Для проведения исследования использованы спутниковые снимки – карты качественной оценки содержания влаги в почве и листьях растений NDMI в сервисе «Геоаналитика. Агро», которые генерируются по данным Landsat-8 и Sentinel-2 с пространственным разрешением 30 и 10 м соответственно. Данные снимки производятся с периодичностью используемой

съемочной системы: 16 дней для продуктов, полученных по данным Landsat-8; с периодичностью 10 дней – для продуктов, полученных по данным Sentinel-2.

Стандартизованный индекс различий увлаженности (NDMI) является чувствительным к уровню влажности в растительности и в почве [2]. Он используется для отслеживания дефицита увлажнения, а также указывает уровень горючих природных материалов в пожароопасных участках ландшафтов. Используются спектральные каналы ближнего инфракрасного диапазона NIR и коротковолнового инфракрасного диапазона SWIR для создания приглушения освещения и атмосферных эффектов.

Нормализованный разностный индекс влажности (Normalized difference moisture index, NDMI) – это показатель содержания влаги в почве и листьях растений. Для расчета индекса используются значения спектральной яркости в ближнем инфракрасном и среднем инфракрасном диапазонах спектра. Данный индекс более чувствителен к содержанию влаги в почве и листьях растений по сравнению с нормализованным разностным водным индексом (NDWI), который используется для определения объектов открытых водных пространств и их выделения на спутниковом снимке, за счет использования среднего инфракрасного канала. Данный индекс NDMI предназначен для оценки неоднородности степени увлажнения растительности и почв [3, 4]. Индекс NDMI вычисляется по формуле (1):

$$NDMI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}, \quad (1)$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области; SWIR – отражение в средней инфракрасной области спектра.

Индекс NDMI имеет значения в интервале от -1 до $+1$. О дефиците увлажнения свидетельствуют отрицательные значения, близкие к -1 , наряду с чем значение индекса $+1$ может интерпретироваться как заболоченность. Характеристика значений индекса представлена в таблице 1.

Существует два способа визуализации показателей индекса NDMI: картосхемы и графики. Стоит отметить, что на картосхемах можно отразить пространственное распределение дефицита увлажнения, а на графиках – их динамику в течение продолжительного периода. Шкала значений NDMI колеблется от -1 до $+1$, в которой низкие значения, закрашенные от белого до светло-коричневого оттенка, указывают на дефицит увлажнения, а высокие значения, закрашенные оттенками от синего до фиолетового, показывают высокое увлажнение.

Таким образом, снижение показателей индекса NDMI означает дефицит увлажнения, а его повышение – избыток увлажнения или паводковую ситуацию.

На рисунке 1 представлена картосхема территории г. Атбасар и долины реки Ишим, используемая для исследования на основе спутниковых снимков.

Результаты и их обсуждение. На основе данных многолетних метеорологических наблюдений и по результатам дешифрирования спутниковых снимков составлена таблица изменчивости степени увлажнения растительности и почв (индекса NDMI) за 39 лет за период 1976-2014 гг. (табл. 2).

Засуха и очень низкая густота растительного покрова выявлены по спутниковому снимку за 18 мая 1976 г. Средняя температура воздуха за месяц до создания снимка составляла 9°C (при норме 4°C), то есть в 2 раза выше от нормы, а суммарное количество осадков – 12 мм (при норме 18 мм), что составляет всего около 66% от нормы.

На снимке от 17 августа 1976 г. также отмечаются засуха и очень низкая густота растительного покрова. Средняя температура воздуха в г. Атбасар составляла 19°C , а суммарное количество осадков – 6 мм, что составляет всего 14% от нормы (43 мм).

На рисунке 2а представлена пространственная изменчивость степени увлажнения растительности и почв г. Атбасар за 3 июля 1989 г. По метеорологическим данным (табл. 2), в предыдущие 30 дней до даты создания спутникового снимка средняя температура воздуха

Таблица 1. Характеристика значений индекса NDMI

Table 1. Characteristics of NDMI index values

Индекс <i>Index</i>	Характеристика <i>Characteristics</i>	Оттенок на картосхеме <i>Hue on the map chart</i>
$-1 - -0,8$	Отсутствие влажности и растительного покрова <i>Lack of humidity and vegetation cover</i>	Темно-коричневый <i>Dark-brown</i>
$-0,8 - -0,6$	Отсутствие влажности и скудный растительный покров <i>Lack of humidity and poor vegetation cover</i>	Коричневый <i>Brown</i>
$-0,6 - -0,4$	Засуха и очень низкая густота растительного покрова <i>Drought and very low vegetation cover density</i>	Светло-коричневый <i>Light-brown</i>
$-0,4 - -0,2$	Засуха и незначительный растительный покров <i>Drought and low vegetation cover</i>	Желтый <i>Yellow</i>
$-0,2-0$	Высокий уровень дефицита увлажнения и незначительный растительный покров <i>High level of moisture deficiency and low vegetation cover</i>	Светло-желтый / белый <i>Light-yellow / white</i>
$0-0,2$	Средний уровень дефицита увлажнения и средняя густота растительного покрова <i>Average level of moisture deficiency and average vegetation density</i>	Светло-голубой <i>Light-blue</i>
$0,2-0,4$	Не достаточное увлажнение и густота растительного покрова выше среднего <i>Lack of moisture and above-average vegetation density</i>	Голубой <i>Blue</i>
$0,4-0,6$	Достаточное увлажнение и высокая густота растительного покрова <i>Sufficient moisture and high vegetation cover density</i>	Синий <i>Blue</i>
$0,6-0,8$	Оптимальное увлажнение и очень высокая густота растительного покрова <i>Optimal moisture and very high density of vegetation cover</i>	Темно-синий <i>Dark-blue</i>
$0,8-1$	Избыточное увлажнение и территория полностью покрыта густым растительным покровом <i>Excessive moisture and the territory is completely covered with dense vegetation cover</i>	Фиолетовый <i>Violet</i>

в г. Атбасар составляла 19°C, а суммарное количество осадков – 22 мм, то есть около 50% от нормы (43 мм). Таким образом, предыдущий месяц до создания снимка являлся засушливым, что подтверждается на картосхеме характерным значением спектральной яркости в ближнем инфракрасном и среднем инфракрасном диапазонах

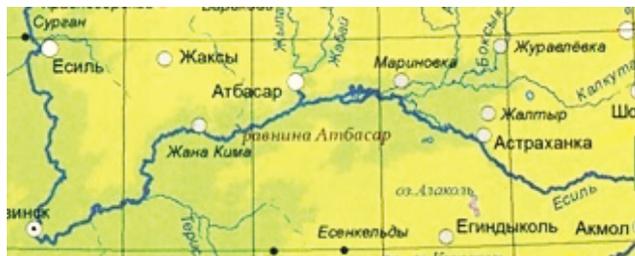


Рис. 1. Исследуемая территория г. Атбасар и долины реки Ишим

Fig. 1. Study area of Atbasar town and Ishim river valley

спектра (скудные влагой участки окрашены желто-коричневым цветом, а богатые влагой участки – насыщенно-синим цветом), указывающим на территориальную неоднородность увлажнения растительности и почвы (на картосхеме – наличие большинства спектров среднего инфракрасного канала).

На рисунке 2б представлена многолетняя изменчивость степени увлажнения растительности и почв г. Атбасар за 1 мая 2001 г. По метеорологическим данным (табл. 2), предыдущие 30 дней до даты создания спутникового снимка средняя температура воздуха составляла 7°C при норме 4°C (почти в 2 раза выше от нормы), а суммарное количество осадков – 8 мм при норме 18 мм, то есть всего около 40% от нормы. Таким образом, предыдущий месяц до создания снимка являлся сильно засушливым, что подтверждается на картосхеме характерным значением наличия большинства спектров ближнего

Таблица 2. Многолетняя изменчивость степени увлажнения растительности и почв в районе г. Атбасар и долины реки Ишим за 1976-2014 гг.

Table 2. Long-term variability of the degree of moisture in vegetation and soils in the area of the town of Atbasar and the valley of the Ishim River for 1976-2014

Дата создания снимка Snapshot date	Период метеорологического наблюдения Meteorological observation period	Средняя температура воздуха, °C Average air temperature, °C	Сумма осадков, мм Amount of precipitation, mm	Значение индекса NDMI NDMI Index Value	Интерпретация индекса увлажнения в районе г. Атбасар и долины реки Ишим Interpretation of the moisture index in the area of Atbasar town and the valley of the Ishim river
18.05.1976 г.	апрель-май, 1976 г. April-May, 1976	9	12	-0,48	Засуха и очень низкая густота растительного покрова Drought and very low vegetation density
17.08.1976 г.	июль-август, 1976 г. July-August, 1976	19	6	-0,45	
03.07.1989 г.	июнь, 1989 г. June, 1989	19	22	0,08	Средний уровень дефицита увлажнения и средняя густота растительного покрова Average moisture deficit and average vegetation density
01.05.2001 г.	апрель, 2001 г. April, 2001	7	8	-0,03	Высокий уровень дефицита увлажнения и незначительный растительный покров High level of moisture deficiency and low vegetation cover
16.08.2005 г.	июль-август, 2005 г. July-August, 2005	20	22	-0,003	
07.06.2009 г.	май, 2009 г. May, 2009	13	49	0,06	Средний уровень дефицита увлажнения и средняя густота растительного покрова Average level of moisture deficiency and average vegetation density
24.07.2011 г.	июль, 2011 г. July, 2011	20	58	0,09	
27.06.2013 г.	июнь, 2013 г. June, 2013	18	31	0,03	
14.08.2013 г.	июль-август, 2013 г. July-August, 2013	18	150	0,03	
13.05.2014 г.	апрель-май, 2014 г. April-May, 2014	9	14	0,002	
17.08.2014 г.	июль-август, 2014 г. July-August, 2014	17	51	0,04	

инфракрасного и среднего инфракрасного каналов (только незначительные участки окрашены насыщенно-синим цветом), указывающим на очень низкий индекс влажности.

На рисунке 3а представлена многолетняя изменчивость степени увлажнения растительности и почв г. Атбасар за 16 августа 2005 г. По метеорологическим данным (табл. 2), в предыдущие 30 дней до даты создания спутникового снимка средняя температура воздуха составляла 20°C, а суммарное количество осадков – 22 мм, то есть около 55% от нормы (38 мм). Таким образом, предыдущий месяц до создания данного снимка являлся засушливым, что подтверждается на картосхеме характерным значением спектральной яркости в ближнем инфракрасном и среднем инфракрасном диапазонах спектра (богатые влагой участки окрашены насыщенно-синим цветом), указывающим на низкую степень увлажнения растительности и почвы (на картосхеме – наличие большинства спектров среднего инфракрасного канала) [5, 6].

На рисунке 3б представлена многолетняя изменчивость степени увлажнения растительности и почв г. Атбасар за 14 августа 2013 г. По метеорологическим данным (табл. 2), в предыдущие 30 дней до даты создания спутникового снимка средняя температура воздуха составляла 18°C при норме 19°C, то есть немного ниже нормы, а суммарное количество осадков – 150 мм при норме 38 мм, что составляет 395% от нормы. Таким образом, предыдущий месячный период до создания снимка

являлся сильно увлажненным, что подтверждается на картосхеме характерным значением наличия большого количества участков, окрашенных насыщенно-синим цветом, указывающим на высокий индекс влажности.

На рисунке 4а представлена многолетняя изменчивость степени увлажнения растительности и почв г. Атбасар за 17 августа 2014 г. По метеорологическим данным (табл. 2), в предыдущие

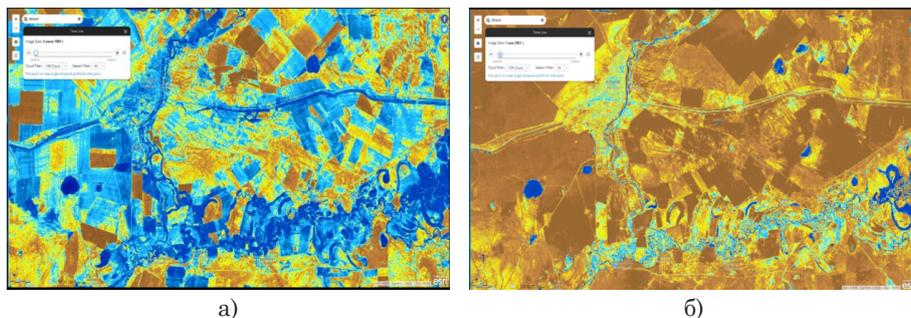


Рис. 2. Индекс влажности NDMI г. Атбасар:
а – за 3 июля 1989 г., конец засушливого периода;
б – за 1 мая 2001 г., конец сильно засушливого 30-дневного периода

Fig. 2. Atbasar Humidity Index NDMI:

a – for July 3, 1989, end of dry period,
b – for May 1, 2001, end of the severely dry 30-day period

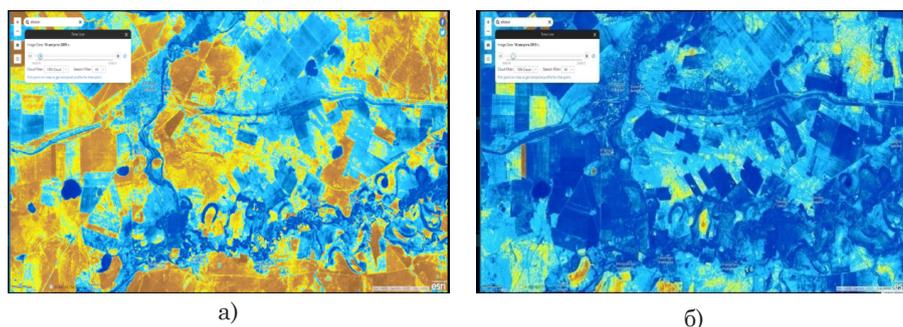


Рис. 3. Индекс влажности NDMI г. Атбасар:
а – за 16 августа 2005 г., засушливый месяц;
б – за 14 августа 2013 г., сильно увлажненный месяц

Fig. 3. NDMI humidity index of Atbasar:

a – for August 16, 2005, dry month, b – for August 14, 2013, a very humid month

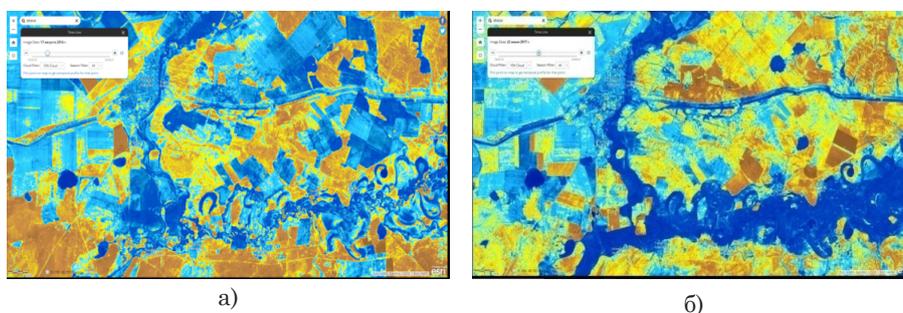


Рис. 4. Индекс влажности NDMI г. Атбасар:
а – за 17 августа 2014 г., средний по влажности месяц;
б – за 22 июня 2017 г., средний по влажности месяц

Fig. 4. Humidity index NDMI in Atbasar:

a – for August 16, 2014, average humidity month;
b – for June 22, 2017, average humidity month

30 дней до даты создания спутникового снимка средняя температура воздуха составляла 17°C при норме 19°C , то есть немного ниже нормы, а суммарное количество осадков – 51 мм при норме 38 мм, что составляет 134% от нормы. Таким образом, предыдущий месяц до создания данного снимка являлся увлажненным, что подтверждается на картосхеме характерным значением спектральной яркости в ближнем инфракрасном и среднем инфракрасном диапазонах спектра (богатые влагой участки окрашены насыщенно-синим цветом), указывающим на среднюю степень увлажнения растительности и почвы [7, 8].

На рисунке 4б представлена многолетняя изменчивость степени увлажнения растительности и почв г. Атбасар за 22 июня 2017 г. По метеорологическим данным, в предыдущие 30 дней до даты создания спутникового снимка средняя температура воздуха составляла 18°C при норме 19°C , то есть немного ниже нормы, а суммарное количество осадков – 60 мм при норме 38 мм, что составляет 157% от нормы. Таким образом, предыдущий месяц до создания данного снимка являлся увлажненным, что подтверждается на картосхеме характерным значением спектральной яркости в ближнем инфракрасном и среднем инфракрасном диапазонах спектра (богатые влагой участки окрашены насыщенно-синим цветом), указывающим на среднюю степень увлажнения растительности и почвы [5].

На рисунке 5а представлена многолетняя изменчивость степени увлажнения растительности и почв г. Атбасар за 27 мая 2019 г. По метеорологическим данным, в предыдущие 30 дней до даты создания спутникового снимка средняя температура воздуха составляла 12°C при норме 13°C , то есть немного ниже нормы, а суммарное количество осадков – 8 мм при норме 30 мм, что составляет всего 27% от нормы. Таким образом, предыдущий месяц до создания снимка являлся

сильно засушливым, что подтверждается на картосхеме характерным значением наличия большинства спектров ближнего инфракрасного и среднего инфракрасного каналов (только незначительные участки окрашены насыщенно-синим цветом), указывающим на очень низкий индекс влажности [9, 10].

На рисунке 5б представлена многолетняя изменчивость степени увлажнения растительности и почв г. Атбасар за 16 июля 2020 г. По метеорологическим данным, в предыдущие 30 дней до даты создания спутникового снимка средняя температура воздуха составляла 19°C , а суммарное количество осадков – 28 мм, то есть около 65% от нормы (43 мм). Таким образом, предыдущий месяц до создания снимка являлся засушливым, что подтверждается на картосхеме характерным значением спектральной яркости в ближнем инфракрасном и среднем инфракрасном диапазонах спектра (богатые влагой участки окрашены насыщенно-синим цветом), указывающим на низкую степень увлажнения растительности и почвы (на картосхеме – наличие большинства спектров среднего инфракрасного канала).

Таким образом, путем анализа спутниковых снимков получена шкала соответствия количественного индекса NDMI и цветовой градации, с помощью которой можно количественно оценить увлажненность растительной и почвенной компонентов ландшафтов, определить подтопленные участки на полях. Полученные значения индекса NDMI применяются для:

- контроля содержания влаги в посевах и определения зоны полей, где посевы испытывают дефицит влаги;
- определения паводковой ситуации;
- определения уровня угрозы воспламенения в пожароопасных регионах;
- предоставления информации работникам МЧС в целях предотвращения чрезвычайных ситуаций при паводковых и пожароопасных ситуациях.

Выводы

По результатам исследований особенностей многолетней изменчивости состояния растительного покрова степной зоны Северного Казахстана за 43 года (период 1976-2019 гг.) района г. Атбасар и долины реки Ишим, для проведения

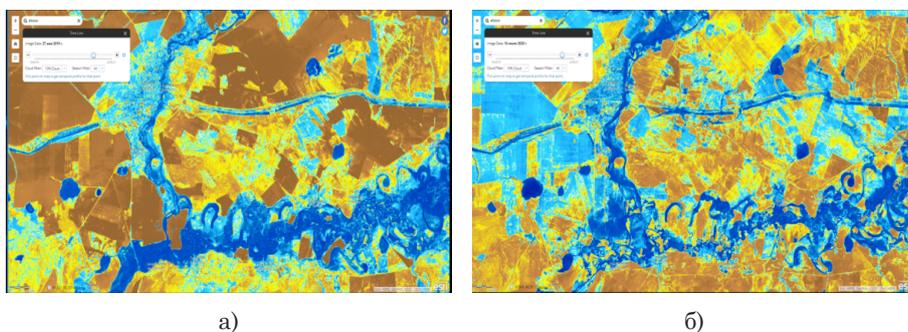


Рис. 5. Индекс влажности NDMI г. Атбасар:

а – за 27 мая 2019 г., сильно засушливый месяц;

б – за 16 июля 2020 г., засушливый месяц

Fig. 5. NDMI humidity index of Atbasar:

a – for May 27, 2019, a very dry month, b – for July 16, 2020, a dry month

которых использованы спутниковые снимки-картосхемы содержания влаги в почве и листьях растений NDMI, можно сделать следующие выводы.

1. Температура воздуха и количество осадков предыдущих 30 дней до даты создания спутникового снимка напрямую влияют на индекс рассчитываемой влажности NDMI (степени увлажнения растительности и почв).

2. Чем ниже температура воздуха по сравнению с нормой (или соответствует норме) и сумма осадков выше нормы для данной территории, тем выше индекс влажности, что представлено на картосхеме характерным значением спектральной яркости в ближнем инфракрасном и среднем инфракрасном диапазонах спектра (богатые влагой участки окрашены насыщенно-синим цветом). Чем выше температура воздуха по сравнению с нормой (или соответствует норме) и сумма осадков ниже нормы для данной территории, тем ниже индекс влажности, что представлено на картосхеме характерным значением наличия большинства спектров среднего инфракрасного канала.

3. Если предыдущий месяц (30 дней) до создания спутникового снимка являлся засушливым, то отмечается низкая степень увлажнения растительности и почвы на момент спутниковой съемки, и наоборот: если предыдущий месяц (30 дней) до создания спутникового снимка являлся увлажненным, то отмечается высокая

степень увлажнения растительности и почвы на момент спутниковой съемки.

4. В многолетнем периоде выявлена следующая особенность: последнее десятилетие XX в. и начало XXI в. (1989, 2001, 2005 гг.) в целом оказались засушливыми. Затем был период (2013, 2014, 2017 гг.), характеризовавшийся увлажненностью. Конец второго десятилетия XXI в. (2019, 2020 гг.) оказался засушливым и сильно засушливым. За период инструментальных метеонаблюдений о какой-либо системности в наступлении засушливых и увлажненных периодов сложно утверждать, так как на увлажнение территории наряду с метеорологическими элементами влияют также тепло- и воднобалансовые характеристики, глубина сезонного промерзания почв, такой компонент ландшафта, как рельеф местности и антропогенный фактор, в частности, линейные инфраструктурные объекты (дорожные насыпи, изменяющие направление поверхностного склонового стока), лесополосы и лесонасаждения, распашка сельхозугодий.

5. Разработанная шкала оценки влажности почв и растительности может быть полезна в работе сельского хозяйства при определении участков полей, где посевы испытывают дефицит влаги, а также для предотвращения чрезвычайных ситуаций при определении паводковой и пожароопасной ситуаций.

Список использованных источников

1. **Kusainova A.A.** Influence of precipitation variability and temperature conditions on the yield of grain crops in Northern Kazakhstan / A.A. Kusainova, O.V. Mezentseva, Z.A. Tusupbekov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Volgograd, Krasnoyarsk, 18-20 июня 2020 г. / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 548. Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. P. 42026. DOI: 10.1088/1755-1315/548/4/042026.

2. Мониторинг сельскохозяйственных полей по космическим снимкам / Под ред.: А.С. Прудкий, Н.С. Шайтура // Эволюционные процессы информационных технологий: сборник материалов 8-й Международной научно-технической конференции, г. Москва, 4 апреля 2023 г. Бургас, 2023. С. 104-111.

3. **Мезентцева О.В., Бевз В.В.** Дистанционные методы выявления процессов деградации почвенного покрова // Московский экономический журнал. 2021. № 8. С. 3-8. DOI: 10.24411/2413-046X-2021-10449.

4. **Бикбулатова Г.Г., Купреева Е.Н.** Методы цифровой обработки аэрокосмических снимков для целей экологического мониторинга земель // Цифровое сельское хозяйство региона: основные задачи, перспективные направления и системные эффекты: сборник материалов Международной научно-практической конференции. Омск: Омский ГАУ, 2019. С. 254-258.

References

1. **Kusainova A.A.** Influence of precipitation variability and temperature conditions on the yield of grain crops in Northern Kazakhstan / A.A. Kusainova, O.V. Mezentseva, Z.A. Tusupbekov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Volgograd, Krasnoyarsk, 18-20 июня 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 548. Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. P. 42026. – DOI 10.1088/1755-1315/548/4/042026.

2. **Prudkiy A.S., Shaitura N.S.** Monitoring of agricultural fields from satellite images. // Evolutionary processes of information technology: 8th International scientific and technical conference, Moscow, April 04, 2023. Bургас: Institute of humanities, economics and information sciences, 2023. P. 104-111.

3. **Mezentseva O.V., Bevez V.V.** Remote methods of identifying the processes of degradation of the soil cover // Moscow economic journal. 2021. № 8. P. 3-8. – DOI 10.24411/2413-046X-2021-10449.

4. **Bikbulatova G.G., Kupreeva E.N.** Methods of digital processing of aerospace images for the purposes of ecological monitoring of lands // Digital agriculture of the region: main tasks, perspective directions and systematical effects: collection of materials of the international scientific-practical conference. Омск: Омск State Agrarian University, 2019. P. 254-258.

5. Тусупбеков Ж.А., Ряполова Н.Л. Оценка экологической устойчивости поверхностных вод Западной Сибири // Вестник Воронежского государственного университета. Серия «География. Геоэкология». 2019. № 3. С. 55-60.

6. Темирбаев Т.Н., Шарапов А.А., Тусупбеков Ж.А. Выявление причин затопления территории г. Тюкалинска Омской области // Рациональное использование природных ресурсов: теория, практика и региональные проблемы: материалы I Всероссийской (национальной) конференции, г. Омск, 26 мая 2021 г. Омск: Омский ГАУ, 2021. С. 241-246.

7. Надточий В.С., Попова Н.Б., Тусупбеков Ж.А., Ряполова Н.Л. Хозяйственное использование водных ресурсов юга Западной Сибири // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием: В 3 т. Т. 3. Барнаул: ООО «Пять плюс», 2022. С. 116-121.

8. Кусаинова А.А., Пернебекова М.Н. Экологические риски засухливости климатических условий на территории северного Казахстана // Высокие технологии и инновации в науке: сборник избранных статей Международной научной конференции. СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», 2020. С. 83-86.

9. Кусаинова А.А., Мезенцева О.В. Исследование влияния теплоресурсов суммарного испарения на увлажненность территории Северного Казахстана. Познание и деятельность: от прошлого к настоящему: материалы I Всероссийской междисциплинарной научной конференции. Омск: 2019. С. 355-360.

10. Кокенай А.Е., Ускенбаева А.С., Сагинбаева А.М., Рахимов Г.Н. Совершенствование методов создания цифровых моделей местности по результатам дистанционного зондирования для сельскохозяйственных нужд // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXVIII Международной научно-практической конференции: В 2 ч. Ч. 1. Пенза: «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2019. С. 211-215.

Критерии авторства / Authorship criteria

Мезенцева О.В., Кусаинова А.А. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись
Мезенцева О.В., Кусаинова А.А. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interest

Поступила в редакцию / Received 02.05.2023

Поступила после рецензирования / Revised 28.08.2023

Принята к публикации / Accepted 28.08.2023

5. Tussupbekov Zh.A., Ryapolova N.L. Assessment of the ecological stability of the surface waters of Western Siberia // Vestnik of Voronezhsky state university. Series: Geography. Geoecology. 2019. № 3. P. 55-60.

6. Temirbaev T.N., Sharapov A.A., Tussupbekov Zh.A. Identification of the causes of flooding of the territory of Tyukalinsk, Omsk region // Rational use of natural resources: theory, practice and regional problems: materials of the I All-Russian (national) conference. Omsk, May 26, 2021. Omsk, Omsk GAU 2021. P. 241-246.

7. Nadtochiy V.S., Popova N.B., Tussupbekov Zh.A., Ryapolova N.L. Economic use of water resources of the south of Western Siberia // Water and ecological problems of Siberia and Central Asia: materials of IV All-Russian scientific conference with international participation. In 3 volumes, Volume 3. Barnaul: "Five Plus" LLC, 2022. P. 116-121.

8. Kusainova A.A., Pernebekova M.N. Ecological risks of aridity of climatic conditions in the territory of northern Kazakhstan // High technologies and innovations in science: Collection of selected articles of the International scientific conference: SPb: GNI "National development", 2020. P. 83-86.

9. Kusainova A.A., Mezentseva O.V. Study of the influence of heat resources of total evaporation on the moisture content of the territory of Northern Kazakhstan. Omsk: 2019. P. 355-360.

10. Kokenai A.E., Uskenbaeva A.S., Saginbaeva A.M., Rakhimov G.N. Improvement of methods for creating digital terrain models based on the results of remote sensing for agricultural needs // Fundamental and applied scientific investigations: actual questions, achievements and innovations: Collection of works of XXVIII International scientific and practical conference: in 2 parts, V. 1. Penza: «Science and Education» (IP Gulyaev G.Yu.), 2019. P. 211-215.

Mezentseva O.V., Kusainova A.A. carried out practical and theoretical research, on the basis of which they carried out a generalization and wrote a manuscript.

Mezentseva O.V., Kusainova A.A. have copyright on the article and are responsible for plagiarism.