Диагностика водообеспеченности сельскохозяйственных культур СУАР КНР в течение 2003–2019 гг. по данным eMODIS NDVI C6

А. Г. Терехов[1,2], Н. Н. Абаев[2,3], Е. И. Лагутин[4]

[1] *Институт информационных и вычислительных технологий МОН*
Алматы, 050010, Казахстан
E-mail: aterekhov1@yandex.ru

[2] *Республиканское государственное предприятие «Казгидромет»*
Алматы, 050022, Казахстан
E-mail: terekhov_a@meteo.kz

[3] *Казахский национальный университет имени аль-Фараби*
Алматы, 050040, Казахстан
E-mail: abayev.nurlan@gmail.com

[4] *Институт водных проблем и экологии, Тараз, 080000, Казахстан*
E-mail: eliktz5070@mail.ru

Работа посвящена диагностике водообеспеченности сельскохозяйственных культур Синьцзян-Уйгурского Автономного Района (СУАР) Китайской народной республики (КНР) в течение последних 17 лет (2003–2019). Эти территории обеспечиваются водой в большой степени за счёт трансграничных (КНР — Казахстан) рек Или и Чёрный Иртыш. В летний период естественная растительность в аридном климате СУАР практически отсутствует, а растениеводство базируется на поливном земледелии, которое является одним из наиболее значительных потребителей речных водных ресурсов. Значения вегетационного индекса NDVI отражают состояние сельскохозяйственной растительности, которое в конечном итоге зависит от режима увлажнения корнеобитаемого слоя почвы. Таким образом, величины сезонных максимумов NDVI в контурах сельскохозяйственных районов СУАР прямо связаны с долей площадей, относящихся к сельскохозяйственным полям, и режимами увлажнения почвенного слоя (объёмами водопотребления). В работе рассмотрена многолетняя динамика средних значений NDVI на первую декаду июля для двенадцати сельскохозяйственных районов СУАР, расположенных на Джунгарской равнине, Кашгарской равнине (Таримская впадина) и в долине р. Или (КНР). В качестве NDVI использовался декадный продукт NDVI e-MODIS C6 с разрешением 250 м, доступный на портале программы Early Warning and Environmental Monitoring Program. Получено, что в вододефицитных районах Джунгарской равнины и Таримской впадины за период 2003–2019 гг. регистрируется существенное увеличение значений NDVI, вызванное в основном расширением площади поливной пашни. В водоизбыточных районах долины р. Иле и бассейне р. Хайдык-Гол наблюдается относительно незначительный рост NDVI, что связано с освоенностью всех удобных для пашни земель. Устойчивость водообеспеченности сельскохозяйственных районов Джунгарской равнины оценивалась по динамике NDVI в низовьях рек Боло-Тала, Куйтунь и Манас перед их впадением в конечные водные объекты (озёра Эби-Нур и Манас). Тренды снижения значений NDVI не были зарегистрированы, что говорит об отсутствии отрицательной динамики в водности этих рек после их выхода из зон сельскохозяйственного использования. То есть можно констатировать устойчивость водоснабжения сельскохозяйственных районов Джунгарской равнины в настоящий момент и наличие потенциала для их дальнейшего развития.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, многолетний мониторинг NDVI, сглаженный NDVI, трансграничный бассейн р. Или, Джунгарская равнина, Кашгарская равнина, поливное земледелие

Одобрена к печати: 02.12.2019
DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-128-138

Введение

Вопрос вододеления ресурсов трансграничных рек между Китайской народной республикой (КНР) и Казахстаном является очень актуальным (Сборник..., 2008). Наиболее крупными трансграничными реками, верховья которых относятся к КНР, а низовья — к Казахстану, являются Или с объёмом годового стока на границе в 12 км^3 и Чёрный Иртыш (9 км^3) (Рысбеков, Рысбеков, 2014). Бассейны этих рек расположены в Центральной Азии в климате с большим дефицитом увлажнения, что ставит вопрос о водной безопасности этих территорий в плоскость практически актуальных государственных задач как в Казахстане, так и в КНР. Кроме естественной речной водной инфраструктуры, в трансграничных бассейнах строятся и используются магистральные водные каналы межбассейновой переброски воды для ирригации внутренних территорий КНР. Наиболее известной является система, включающая два канала: Чёрный Иртыш – Карамай и Чёрный Иртыш – Урумчи (Терехов, 2017, 2018а). Эта воднотранспортная система длиной более 500 км используется для обводнения внутренних районов Джунгарской равнины в Синьцзян-Уйгурском автономном районе (СУАР) КНР.

Многолетняя динамика водопотребления на территории КНР в трансграничных речных бассейнах и в зависимых внутренних регионах представляет значительный интерес. Основным потребителем воды в условиях аридного климата является поливное земледелие. Существует несколько подходов к спутниковому мониторингу территорий в задачах спутниковых оценок состояния и водообеспеченности растительности (Письман и др., 2018; Aguilar et al., 2012; Muthuwatta et al., 2009; Spivak et al., 2012), а также к диагностике сельскохозяйственного водопотребления (Dalezios et al., 2019), включая и модельные методы (Музылев и др., 2019)

Прямой путь — это картирование пашни с регистрацией площади посевов и её многолетней динамики (Терехов и др., 2018). В дальнейшем необходимо проводить распознавание сельскохозяйственных культур и через нормы водопотребления осуществлять оценку объёмов воды, используемой в сельскохозяйственном секторе. Точность распознавания культур в сельскохозяйственном районе без доступа к наземным обследованиям невысока. Нормы полива зависят от систем ирригации и могут варьироваться в широком диапазоне. Фактические нормы полива сельскохозяйственных угодий СУАР КНР и их изменения в период мониторинга (2003–2019) неизвестны. В результате получение достоверных оценок по объёмам водопотребления и их изменениям в многолетнем аспекте для сельскохозяйственных угодий региона с использованием данного подхода довольно затруднительно.

Для сельскохозяйственных культур, культивируемых на богаре или обводнённой пашне, существует некоторый оптимум влажности корнеобитаемого слоя почвы. Недостаток влаги, также как и её избыток, приводит к стрессу, уменьшению индекса листового покрытия (Leaf Area Index — LAI) и ухудшению продуктивности, регистрируемому спутником через снижение значений NDVI (Normalized Difference Vegetation Index — нормализованный разностный вегетационный индекс). В условиях климатического дефицита влаги, например в Джунгарской равнине (СУАР КНР), где испаряемость доходит до 3000 мм (PetroChina..., 2012), а годовой уровень осадков составляет всего 250–300 мм (Climatological..., 2002), основной объективной угрозой для состояния сельскохозяйственных культур является недостаток увлажнения. Мы исходим из предположения, что культура возделывания сельскохозяйственных растений в СУАР КНР достаточно высока и избыток влаги на полях не может носить характер регулярного, многолетнего фактора, лимитирующего урожайность. В условиях дефицита увлажнения урожайность сельскохозяйственных культур, а значит и прочие параметры, в том числе величины NDVI, прямо связаны с количеством влаги, доступной для корневой системы. Например, для яровой пшеницы Северного Казахстана на богаре расход почвенной влаги на создание одного центнера зерна с гектара оценивается в 17–20 мм (Яровая..., 1976), т.е. чем больше корнедоступной влаги, тем выше урожайность. Таким образом, типичной ситуацией для сельскохозяйственных районов СУАР представляется наличие прямой связи между величиной NDVI и водообеспеченностью сельскохозяйственных культур. Это положение базируется на двух предположениях: чем больше воды, тем лучше состояние культуры, а в многолетнем аспекте — чем больше воды, тем больше площади посевов.

Косвенный путь оценки водопотребления территорий может строиться через мониторинг водообеспеченности сельскохозяйственных культур. Такой подход базируется на определении индекса растительности (например, NDVI) внутри контура сельскохозяйственного района. Величина NDVI зависит от LAI, архитектоники растительности и других параметров, прямо отвечающих за потребление воды (Dalezios et al., 2019). Многолетний мониторинг средних значений NDVI внутри контура сельскохозяйственного района автоматически учитывает изменения посевных площадей, типов/сортов культур (если это связано с изменением LAI или архитектоники вегетации), агротехнику и состояние культуры. Таким образом, многолетние ряды значений NDVI позволяют оценивать режим водообеспеченности сельскохозяйственной растительности. Параметр, диагностирующий объёмы водопотребления сельскохозяйственной растительностью, в данном случае будет иметь размерность [$NDVI_{max}$]×[площадь с.-х. контура]. При прочих равных условиях его величина будет прямо связана с объёмами воды, используемыми в районе для растениеводства.

Задачей данного исследования являлась спутниковая диагностика динамики водопотребления сельскохозяйственными культурами на территории СУАР КНР в течение 2003–2019 гг. для двенадцати сельскохозяйственных районов СУАР. В число анализируемых районов была включена китайская часть бассейна трансграничной р. Или, а также зависимые от трансграничных речных ресурсов территории Джунгарской равнины и Таримской впадины (Кашгарская равнина).

Место исследования

Территория исследования относится к Синьцзян-Уйгурскому автономному району КНР (*рис. 1*, см. с. 131). Контуры анализируемых сельскохозяйственных районов формировались по бассейновому принципу (*рис. 2*, см. с. 131). В качестве основы выступал бассейн доминирующей реки района. В трансграничном бассейне р. Или (китайский сектор) было выделено четыре района: бассейн самой р. Или, а также три бассейна её основных притоков — рек Текес, Каш и Кунгес. В Джунгарской долине, примыкающей к долине р. Иле с северо-востока и отделённой от неё горными хребтами Боро-Хоро и Укен, также было выбрано четыре района. Это сельскохозяйственные массивы бассейнов рек Боло-Тала и Куйтунь, впадающих в оз. Эби-Нур, а также сельскохозяйственные массивы бассейнов рек Кубук и Манас, относящихся к бассейну оз. Манас. В бассейн оз. Манас приходят магистральные водные каналы межбассейновой переброски воды Чёрный Иртыш – Карамай и Чёрный Иртыш – Урумчи (Терехов, 2017, 2018а, б). Они снабжают Джунгарскую долину (внутренняя территория КНР) водой трансграничной р. Чёрный Иртыш. Канал Чёрный Иртыш – Карамай пересекает бассейн р. Кубук и поддерживает её сток. Канал Чёрный Иртыш – Урумчи доводит воду до бассейна р. Манас. К югу от долины р. Или расположена Кашгарская равнина (Таримская впадина) (см. *рис. 1*, *2*). Их разделяют хребты центрального Тянь-Шаня. В северной части Таримской впадины также было выделено четыре сельскохозяйственных района, а именно: верхняя часть Аксайского оазиса (бассейн р. Аксу), сельскохозяйственный массив бассейна р. Музарт (восточнее р. Аксу), сельскохозяйственный массив бассейна р. Кончедарья, вытекающей из оз. Баграшкёль и массив бассейна р. Хайдык-Гол, которая впадает в оз. Баграшкёль. Размеры площадей выделенных сельскохозяйственных районов представлены в *таблице*.

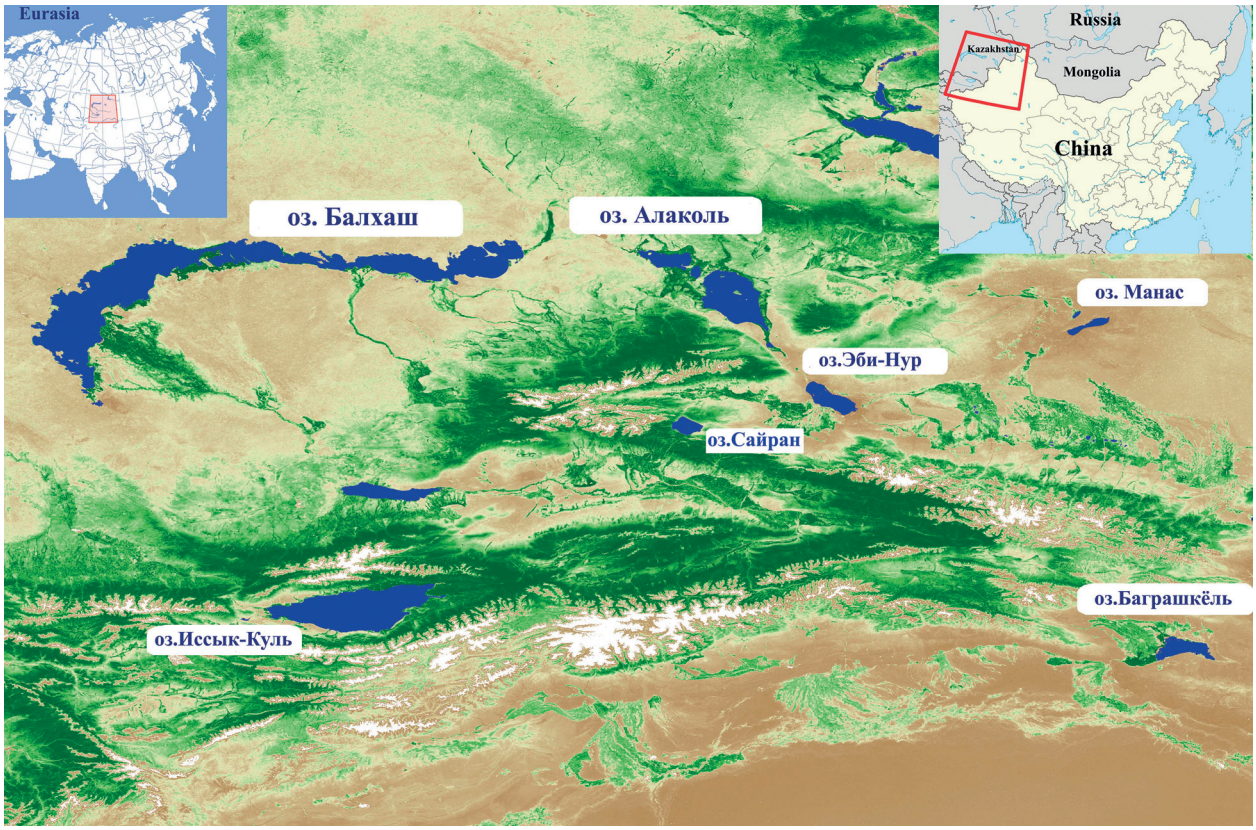


Рис. 1. Регион Центральной Азии и Синьцзян-Уйгурского автономного района. Основа — продукт Temporally smoothed NDVI USGS/EROS/FEWS NET, e-Modis NDVI C6 (1–10 июля 2003 г.)

Рис. 2. Контуры анализируемых сельскохозяйственных районов СУАР КНР (№ 1–12). Основа — продукт Temporally smoothed NDVI USGS/EROS/FEWS NET, e-Modis NDVI C6 (1–10 июля 2003 г.)

Материалы и методы

В настоящей работе использовался продукт Temporally smoothed NDVI USGS/EROS/FEWS NET в формате e-Modis NDVI C6 (https://earlywarning.usgs.gov/fews/search/Asia/Central%20Asia) с разрешением 250 м, доступный в виде ежедекадных сцен на территорию Центральной Азии. Обработка временных рядов NDVI при построении e-Modis NDVI C6 имеет стратегию расчёта верхней огибающей (Swets et al., 1999), что минимизирует влияние помех от облачного покрова. Ожидалось, что высокое качество сцен e-Modis NDVI C6 позволит получать корректные оценки многолетней динамики вегетационного индекса в контурах сельскохозяйственных районов. Предполагалось наличие прямой связи между средней величиной NDVI в контуре сельскохозяйственного района и водопотреблением сельскохозяйственной растительностью, что позволяет распознавать три базовых режима водообеспеченности сельскохозяйственного района: стабильный (отсутствие тренда NDVI); рост водопотребления (положительный тренд NDVI); нарастающий дефицит воды (отрицательный тренд NDVI).

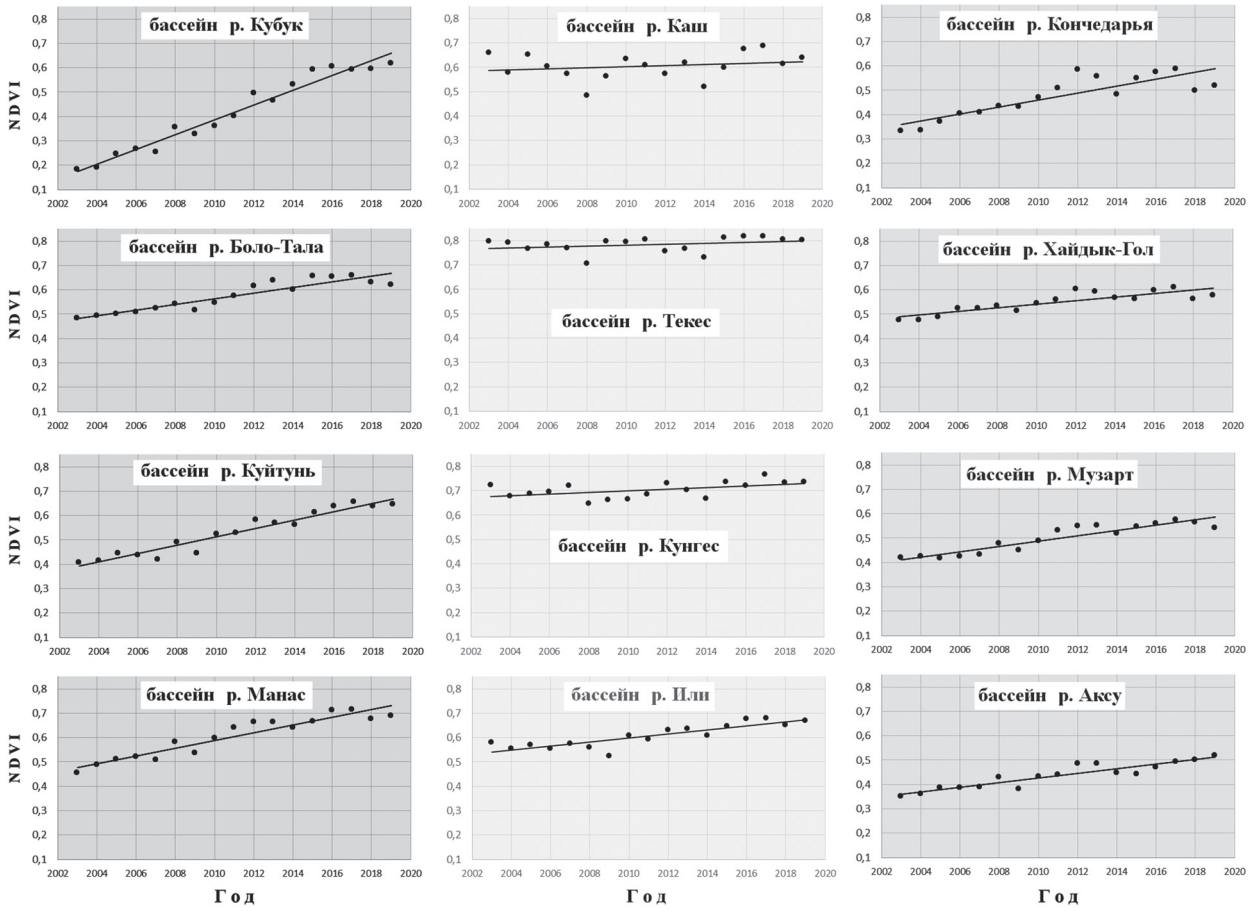
Ранее было показано (Терехин, 2015), что при многолетнем NDVI-мониторинге сельскохозяйственных культур Белгородской обл. средние сезонные значения и сезонные максимумы имеют одинаковую направленность трендов. То есть параметры сезонного цикла развития сельскохозяйственной растительности могут быть сведены к одной величине, например сезонному максимуму, без потерь в оценках направленности многолетних трендов. Поэтому в данной работе в качестве характеристики года использовалась одна сцена e-Modis NDVI C6 (19-я декада: 1–10 июля). Среднее по контуру сельскохозяйственного района значение NDVI использовалось в качестве интегральной характеристики состояния растительности этой территории в рассматриваемый год. Соответственно, период 2003–2019 гг. для каждого сельскохозяйственного района описывался временным рядом из 17 отсчётов. Направленность линейного тренда изменений значений NDVI в течение 2003–2019 гг. позволяет диагностировать многолетний режим водообеспеченности сельскохозяйственных культур анализируемого района. Величина коэффициента линейного уравнения линии тренда около нуля говорит о стабильности состояния, положительные значения указывают на наличие роста NDVI и, соответственно, увеличение водопотребления.

Контур сельскохозяйственного района строился по сценам e-Modis NDVI C6 на 19-ю декаду (1–10 июля) последних трёх лет (2017–2019), чтобы включить в него всю существующую в настоящий момент поливную пашню. В аридном климате поля поливных культур имеют высокие значения NDVI, особенно в середине лета (июль), когда листовое покрытие культуры близко к сезонному максимуму. Это позволяет относительно легко отделять посевы от фоновой растительности естественных пастбищ, которые полностью высыхают к июлю и имеют значения NDVI близкие к нулю. В спорных случаях для распознавания полей привлекалась спутниковая съёмка субметрового пространственного разрешения, доступная в системе Google Планета Земля (*англ.* Google Earth).

Результаты

Динамика средних по контуру сельскохозяйственных районов значений e-Modis NDVI C6 представлена на *рис. 3* (см. с. 133). Для оценки устойчивости водообеспеченности сельскохозяйственных районов Джунгарской равнины была рассмотрена динамика NDVI территорий в устье рек Боло-Тала, Куйтунь и Манас (*рис. 4*, см. с. 133).

В *таблице* представлена информация: по площадям рассмотренных сельскохозяйственных районов СУАР; многолетним максимумам значений NDVI (19-я декада), зарегистрированным в период 2003–2019 гг., как интегральной характеристике растительности района; величинам коэффициентов линейных уравнений линий трендов, характеризующим изменение суммарного водопотребления сельскохозяйственной растительностью района в многолетнем аспекте (2003–2019); величинам параметра с размерностью ([$NDVI_{max}$]×[площадь района]), сопоставимо отражающего в условных единицах текущий объём водопотребления района (корректно при одинаковых нормах полива и типах возделываемых культур).



Джунгарская равнина Долина р. Или Кашгарская равнина

Рис. 3. Динамика средних значений e-Modis NDVI C6 в контурах анализируемых сельскохозяйственных районов СУАР КНР на 1–10 июля периода 2003–2019 гг. Построено по данным продукта Temporally smoothed NDVI USGS/EROS/FEWS NET

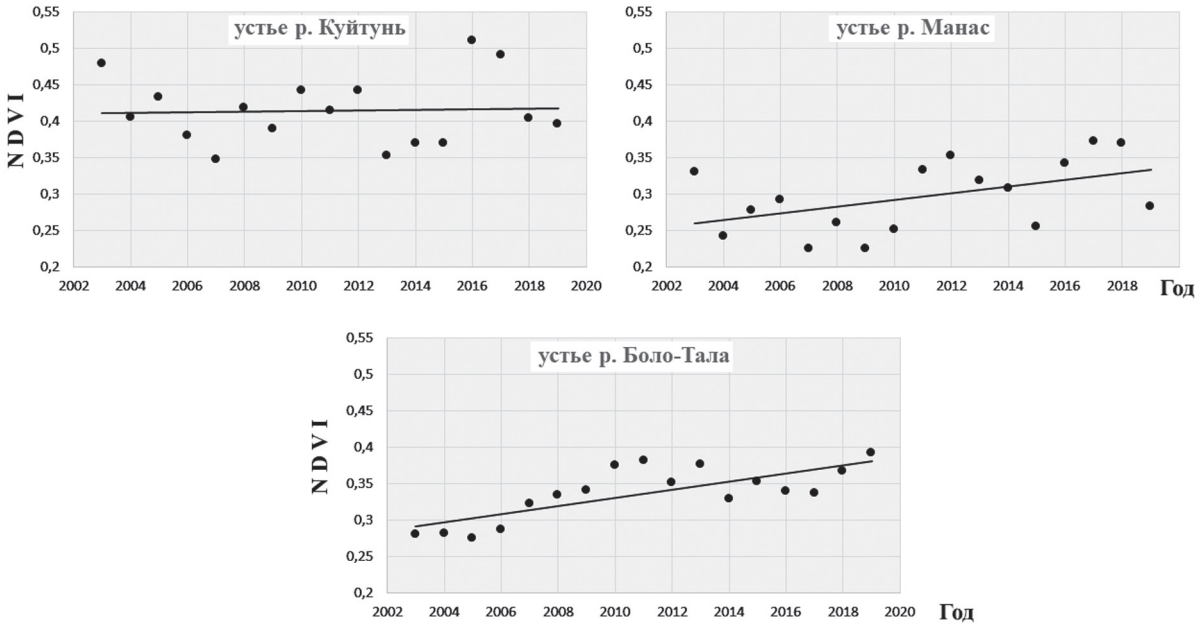


Рис. 4. Динамика средних значений e-Modis NDVI C6 на территориях в устьях рек Джунгарской равнины (СУАР, КНР) на 1–10 июля периода 2003–2019 гг. Построено по данным продукта Temporally smoothed NDVI USGS/EROS/FEWS NET

Характеристики проанализированных сельскохозяйственных районов

Регион	Район (бассейн)	Площадь с.-х. контура, га	NDVI многолетний (max)	Величина коэффициента уравнения линейного тренда	Потребление воды, усл. ед. ($NDVI_{max}$×площадь района)
Долина р. Или		**1 167 620**	**0,726**		**847 110**
1	р. Или	626 660	0,680	0,0082	426 129
2	р. Каш	116 850	0,688	0,0019	80 393
3	р. Кунгес	124 200	0,767	0,0034	95 261
4	р. Текес	299 910	0,818	0,0019	245 327
Джунгарская равнина		**2 377 820**	**0,688**		**1 644 968**
5	р. Боло-Тала	428 420	0,657	0,0159	281 472
6	р. Куйтунь	651 980	0,657	0,0173	428 351
7	р. Манас	1 297 650	0,716	0,0117	929 117
8	р. Кубук	9 770	0,617	0,0303	6 028
Кашгарская равнина		**1 589 825**	**0,570**		**911 346**
9	р. Аксу	310 510	0,519	0,0096	161 155
10	р. Музарт	704 320	0,575	0,0109	404 984
11	р. Канчедарья	225 675	0,587	0,0143	132 471
12	р. Хайдык-Гол	349 320	0,609	0,0074	212 736

Обсуждение

Динамика изменений сезонных значений NDVI в контурах сельскохозяйственных районов СУАР может быть условно разделена на две группы. Первая группа — это районы, находящиеся в условиях избытка естественных водных ресурсов. В неё входят все четыре района долины р. Иле, а также район в бассейне р. Хайдык-Гол (Кашгарская равнина). Хайдык-Гол питает относительно крупное оз. Баграшкёль с площадью зеркала на июль 2019 г. в 1100 км^2. Зеркало этого пресного озера в период 2003–2019 гг. было стабильно, что позволяет относить бассейн р. Хайдык-Гол к району с избыточными естественными водными ресурсами. Первая группа сельскохозяйственных районов (бассейны рек Каш, Текес, Кунгес) демонстрирует многолетний тренд на незначительный рост средних значений NDVI, величины коэффициентов линейного уравнения линий трендов близки к нулю: варьируются от 0,0019 до 0,0034 (см. *таблицу*). Наблюдаемый небольшой рост NDVI, возможно, связан с улучшением агротехники возделывания культур. Ещё два района этой группы (бассейны рек Иле и Хайдык-Гол) демонстрируют более выраженный тренд роста: коэффициенты уравнений линий трендов составляют соответственно 0,0082 и 0,0074, что обусловлено некоторым фактическим ростом площади поливной пашни за счёт освоения неудобий.

Вторая группа районов — это территории, находящиеся в условиях дефицита водных ресурсов. К ней относятся все районы Джунгарской равнины, а также земли северной части Кашгарской равнины (за исключением бассейна р. Хайдык-Гол). В этих районах регистрируется заметный рост средних значений NDVI в период с 2003 по 2019 г. Коэффициенты уравнения линий трендов варьируются от 0,0096 до 0,0303. В целом за последние 17 лет все эти районы демонстрируют прогрессивное развитие сельскохозяйственной растительности, обусловленное ростом площадей поливной пашни и улучшением состояния культуры.

Стабильность водообеспеченности сельскохозяйственных районов можно диагностировать по величинам NDVI в нижнем течении доминирующих рек перед их впадением в конечные водные объекты. Для Джунгарской равнины конечными водными объектами явля-

ются озёра Эби-Нур и Манас. Динамика NDVI территорий в устье рек Боро-Тала, Куйтунь и Манас не имеет тренда на ухудшение, что говорит о достаточном количестве воды, выходящей из зон сельскохозяйственного использования, и, соответственно, об устойчивости водоснабжения и наличии потенциала для дальнейшего развития растениеводства этих территорий.

Дополнительной характеристикой водообеспеченности сельскохозяйственных земель является тип доминирующих культур. Чем лучше водообеспеченность, тем меньше ограничений на тип и сорта культуры. Архитектоника сельскохозяйственной растительности влияет на значения NDVI. Например, ориентированные под острым углом к Солнцу листья зерновых культур характеризуются меньшими значениями NDVI, а сама культура менее требовательна к влаге. Другие культуры, с перпендикулярной ориентацией листьев (кукуруза или хлопчатник), имеют более высокие значения NDVI и, соответственно, более требовательны к воде. При сравнении многолетних максимумов NDVI для различных регионов (см. *таблицу*) наиболее высокое значение регистрируется в долине р. Или (0,726), затем следует Джунгарская равнина (0,688) и самая низкая величина — в северной части Кашгарской равнины (0,570). Можно предположить, что удельная водообеспеченность сельскохозяйственных культур рассмотренных регионов имеет такой же порядок ранжирования.

Заключение

Проведённый анализ динамики сезонных максимумов NDVI в сельскохозяйственных района СУАР КНР в период 2003–2019 гг. показал, что задача поступательного развития растениеводства успешно решается. Лучший уровень водообеспеченности сельскохозяйственных культур регистрируется в китайской части трансграничного бассейна р. Иле, затем идёт Джунгарская равнина и несколько хуже ситуация в северной части Кашгарской равнины. Но в целом нет признаков стагнации или деградации сельскохозяйственной растительности на поливной пашне СУАР, что, очевидно, было бы связано с дефицитом воды. В ближайшие годы тенденция на увеличение площадей поливной пашни в Джунгарской равнине и Таримской впадине может продолжиться, поскольку потенциал водных ресурсов ещё не исчерпан. Относительные объёмы водопотребления, оценённые по спутниковым данным NDVI, в долине р. Или и в северной части Таримской впадины примерно равны. На Джунгарской равнине объём водопотребления выше приблизительно в два раза. Следует отметить, что выводы об объёмах фактического водопотребления сельскохозяйственными районами, основанные на значениях NDVI, носят ориентировочный характер. Строго говоря, эти количественные оценки станут корректными только при соблюдении равенства прочих условий, в том числе видов возделываемых культур, способов ирригации и норм полива.

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан, проект AP 05134241.

Литература

1. *Музылев Е. Л.*, *Старцева З. П.*, *Зейлигер А. М.*, *Ермолаева О. С.*, *Волкова Е. В.*, *Василенко Е. В.*, *Осипов А. И.* Использование спутниковых данных о характеристиках подстилающей поверхности и метеорологических характеристиках при моделировании водного и теплового режимов большого сельскохозяйственного региона // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 44–60. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-44-60.
2. *Письман Т. И.*, *Ботвич И. Ю.*, *Шевырногов А. П.* Оценка состояния лесной растительности Красноярского края (заповедник «Столбы») по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 130–140. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-130-140.
3. *Рысбеков Ю. Х.*, *Рысбеков А. Ю.* Управление водными ресурсами в Китае // Информац. сб. НИЦ МКВК. 2014. № 41. 80 с. URL: http://www.cawater-info.net/library/rus/inf/41.pdf.

4. Сборник протоколов заседаний Казахстанско-Китайской совместной комиссии по использованию и охране трансграничных рек (2001–2008 гг.). 2008. 47 с. URL: http://www.cawater-info.net/library/rus/protokols_kaz-china.pdf.
5. *Терехин Э. А.* Анализ многолетней динамики вегетационного индекса для посевных площадей спутниковой информации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 6. С. 48–58.
6. *Терехов А. Г.* Технические характеристики водного канала Кара-Ертис – Карамай: спутниковые оценки // Гидрометеорология и экология. 2017. Т 87. № 4. С. 54–62.
7. *Терехов А. Г.* (2018а) Технические характеристики водного канала Кара-Ертис – Урумчи: спутниковые оценки // Гидрометеорология и экология. 2018. Т. 91. № 4. С. 63–74.
8. *Терехов А. Г.* (2018б) Мониторинг озера Манас (КНР) в период 1989–2017 годов по спутниковым данным Landsat // Гидрометеорология и экология. 2018. Т. 89. № 2. С. 63–72.
9. *Терехов А.*, *Калимолдаев М.*, *Пак И.*, *Долгих С.* Экспансия агроландшафта и состояние основных водных объектов на территории Синьцзян-Уйгурского автономного района (бассейны реки Иле и озера Эби-Нур) по данным спутниковой съемки 1990–2017 гг. // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. В 5-ти т. / под ред. В. Г. Сычёва, Л. Мюллера. М.: Изд-во ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2018. Т. 3. С. 219–223.
10. Яровая пшеница в Северном Казахстане / под ред. Бараева А. И. Алма-Ата: Изд-во Кайнар, 1976. 232 с.
11. *Aguilar C.*, *Zinnert J.*, *Polo M. J.*, *Young D.* NDVI as an indicator for changes in water availability to woody // Ecological Indicators. 2012. V. 23. P. 290–300. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.04.008.
12. *Dalezios N. R.*, *Spyropoulos N.*, *Dercas N.*, *Psomiadis E.* Remotely Sensed Methodologies for Crop Water Availability and Requirements in Precision Farming of Vulnerable Agriculture // Water Resources Management. 2019. V. 33. No. 4. P. 1499–1519. DOI: 10.1007/s11269-018-2161-8.
13. Climatological Atlas of the People's Republic of China. Beijing: China Meteorological Press, 2002. 250 p.
14. *Muthuwatta L.*, *Ahmad M.*, *Bos M. G.*, *Rientjes T. H. M.* Assessment of water availability and consumption in the Karkheh River Basin, Iran — Using Remote Sensing and Geo-statistics // Water Resources Management. 2009. V. 24. No. 3. P. 459–484. DOI: 10.1007/s11269-009-9455-9.
15. PetroChina Xinjiang Oilfield Emission Reduction and Afforestation Project UNFCCC/CCNUCC. 2012. URL: https://cdm.unfccc.int/Projects/Validation/DB/Y8JYE4VLYVRA7CQHVLCMMGGRH4ICZY/view.html (accessed: 20.01.2020).
16. *Spivak L.*, *Vitkovskaya I.*, *Batyrbayeva M.*, *Terekhov A.* The experience of land cover change detection by satellite data // Frontiers of Earth Science. 2012. V. 6. No. 2. P. 140–146.
17. *Swets D.*, *Bradley C. R.*, *Rowland J.*, *Marko S. E.* A weighted least-squares approach to temporal NDVI smoothing. 1999. URL: https://pubs.er.usgs.gov/publication/70201050 (accessed 22.07.2019).

Diagnostics of water availability for agricultural crops in Xinjiang (China) in 2003–2019 based on eMODIS NDVI C6 data

A. G. Terekhov[1,2], N. N. Abayev[2,3], E. I. Lagutin[4]

[1] *Institute of Information and Computing Technology MES, Almaty 050010, Kazakhstan*
E-mail: aterekhov1@yandex.ru

[2] *RSE Kazhydromet, Almaty 050022, Kazakkstan*
E-mail: terekhov_a@meteo.kz

[3] *Al-Farabi Kazakh National University, Almaty 050040, Kazakhstan*
E-mail: abayev.nurlan@gmail.com

[4] *Institute of Water Problems and Ecology, Taras 080000, Kazakhstan*
E-mail: eliktz5070@mail.ru

This research is dedicated to the evaluation of water supply in agricultural areas of the Xinjiang Uyghur Autonomous Region, People's Republic of China (XUAR PRC) for the last 17 years between 2003 and 2019. In summer there is no natural vegetation in the arid climate in XUAR PRC. Mostly, this territory's water is supplied by transboundary (Kazakhstan — China) rivers: Ili and Black Irtysh. Cropping in XUAR PRC is based on irrigated agriculture which is the most significant consumer of river water

resources. The NDVI values reflect the agricultural vegetation state that ultimately depends on the moisture regime of the root-inhabited soil layer. Thus, the seasonal NDVI maximum of the agricultural regions is directly related to the share of the cropland and soil moisture regimes. We used the long-term dynamics of the average NDVI values (first 10 days of July) for twelve agricultural zones of the XUAR located on the Dzungar and Kashgar plains and in the Ili River Valley (China's section). The product e-MODIS NDVI FEWS NET (Early Warning and Environmental Monitoring Program) with ten days renewal and resolution 250 m was used. It was obtained that during 2003–2019, for the agricultural areas of Dzungar and the Kashgar plains NDVI increased mainly because of cropping expansion. The water-abundant region of River Ili Valley and the basin of the River Khaidyk-Gol demonstrated insignificant NDVI increases because there was no additional land suitable for cropping. The sustainability of water availability in the Dzhungar Plain agricultural region was estimated from NDVI dynamics of mouth zones of rivers Bolo-Tala, Kuitun and Manas. There were no negative NDVI trends which indicates stability in the river outflows from the agricultural zones. Therefore, we can ascertain the sustainability of water supply for the Dzungar Plain cropping and good potential for further development.

Keywords: remote sensing, long-term NDVI monitoring, dynamic temporally smoothed NDVI, transboundary River Ili basin, Dzungar Plain, Kashgar Plain, irrigated cropping

Accepted: 02.12.2019
DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-128-138

References

1. Muzylev E. L., Startseva Z. P., Zeyliger A. M., Ermolaeva O. S., Volkova E. V., Vasilenko E. V., Osipov A. I., Ispol'zovanie sputnikovykh dannykh o kharakteristikakh podstilayushchei poverkhnosti i meteorologicheskikh kharakteristikakh pri modelirovanii vodnogo i teplovogo rezhimov bol'shogo sel'skokhozyaistvennogo regiona (The use of satellite data on land surface and meteorological characteristics in modeling the water and heat regimes of large agricultural region), S*ovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 44–60, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-44-60.
2. Pisman T. I., Botvich I. Yu., Shevyrnogov A. P., Otsenka sostoyaniya lesnoi rastitel'nosti Krasnoyarskogo kraya (zapovednik "Stolby") po sputnikovym dannym (Assessment of the state of forest vegetation in Krasnoyarsk Territory (Stolby Nature Reserve) according to satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 5, pp. 130–140, DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-130-140.
3. Rysbekov Yu. Kh., Rysbekov A. Yu., Upravlenie vodnymi resursami v Kitae (Water resources management in China), *Informatsionnyi sbornik NITs MKVK*, 2014, No. 41, 80 p., available at: http://www.cawater-info.net/library/rus/inf/41.pdf.
4. *Sbornik protokolov zasedanii Kazakhstansko-Kitaiskoi sovmestnoi komissii po ispol'zovaniyu i okhrane transgranichnykh rek* (*2001–2008 gg.*) (Collection of minutes of meetings of the Kazakh-Chinese joint Commission on the use and protection of transboundary rivers), 2008, 47 p., available at: http://www.cawater-info.net/library/rus/protokols_kaz-china.pdf.
5. Terekhin E. A., Analiz mnogoletnei dinamiki vegetatsionnogo indeksa dlya posevnykh ploshchadei sputnikovoi informatsii (Analysis of vegetation index long-term dynamics for crop areas), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 6, pp. 48–58.
6. Terekhov A. G., Tekhnicheskie kharakteristiki vodnogo kanala Kara-Ertis – Karamai: sputnikovye otsenki (Technical characteristics of the Kara-Ertis – Karamay water canal: satellite estimations), *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2017, Vol. 87, No. 4, pp. 54–62.
7. Terekhov A. G. (2018a), Tekhnicheskie kharakteristiki vodnogo kanala Kara-Ertis – Urumchi: sputnikovye otsenki (Technical characteristics of the Kara-Ertis – Urumqi water canal: satellite estimations), *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2018, Vol. 91, No. 4, pp. 63–74.
8. Terekhov A. G. (2018b), Monitoring ozera Manas (KNR) v period 1989–2017 godov po sputnikovym dannym LANDSAT (Monitorig of lake Manas (CHINA) during the period 1989–2017 using LANDSAT satellite data), *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2018, Vol. 89, No. 2, pp. 63–72.
9. Terekhov A., Kalimoldaev M., Park I., Dogikh S., Ekspansiya agrolandshafta i sostoyanie osnovnykh vodnykh ob″ektov na territorii Sin'tszyan-Uigurskogo avtonomnogo raiona (basseiny reki Ile i ozera Ebi-Nur) po dannym sputnikovoi s″emki 1990–2017 gg. (Expansion of agro-landscape and the state of the main water objects in the territory of the SUAR CHINA (basins of river Ile and lake Ebi-Nur) during 1990–2017 on base of satellite data), In: *Novye metody i rezul'taty issledovanii landshaftov v Evrope*, *Tsentral'noi Azii i Sibiri*

(Novel Methods and Results of Landscape Research in Europe, Central Asia and Siberia), V. G. Sychev, L. Mueller (eds.), Moscow: Izd. FGBNU "VNII agrokhimii", 2018, Vol. 3, pp. 219–223.
10. *Yarovaya pshenitsa v Severnom Kazakhstane* (Spring wheat in Northern Kazakhstan), Baraev A. I. (ed.), Alma-Ata: Izd. Kainar, 1976, 232 p.
11. Aguilar C., Zinnert J., Polo M. J., Young D., NDVI as an indicator for changes in water availability to woody, *Ecological Indicators*, 2012, Vol. 23, pp. 290–300, DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.04.008.
12. Dalezios N. R., Spyropoulos N., Dercas N., Psomiadis E., Remotely Sensed Methodologies for Crop Water Availability and Requirements in Precision Farming of Vulnerable Agriculture, *Water Resources Management*, 2019, Vol. 33, No. 4, pp. 1499–1519, DOI: 10.1007/s11269-018-2161-8.
13. *Climatological Atlas of the People's Republic of China*, Beijing: China Meteorological Press, 250 p.
14. Muthuwatta L., Ahmad M., Bos M. G., Rientjes T. H. M., Assessment of water availability and consumption in the Karkheh River Basin, Iran — Using Remote Sensing and Geo-statistics, *Water Resources Management*, 2009, Vol. 24, No. 3, pp. 459–484, DOI: 10.1007/s11269-009-9455-9.
15. *PetroChina Xinjiang Oilfield Emission Reduction and Afforestation Project UNFCCC/CCNUCC*, 2012, available at: https://cdm.unfccc.int/Projects/Validation/DB/Y8JYE4VLYVRA7CQHVLCMMGGRH4ICZY/view.html. (accessed 20.01.2020).
16. Spivak L., Vitkovskaya I., Batyrbayeva M., Terekhov A., The experience of land cover change detection by satellite data, *Frontiers of Earth Science*, 2012, Vol. 6, No. 2, pp. 140–146, DOI: 10.1007/s11707-012-0317-z.
17. Swets D., Bradley C. R., Rowland J., Marko S. E., *A weighted least-squares approach to temporal NDVI smoothing*, 1999, available at: https://pubs.er.usgs.gov/publication/70201050 (accessed 22.07.2019).