



Тенденции распределения водно-болотных угодий в Центральной Азии

Нора Теш^{1*}, Нильс Тевс²

¹ Университет Эберхарда и Карла (Тюбингенский университет), Германия

² Центральноазиатская программа Всемирного центра агролесоводства (ICRAF), Кыргызстан

* для корреспонденции: nora.tesch@mailbox.org

Данная версия является переводом статьи «Wetland Distribution Trends in Central Asia», опубликованной в журнале 1 мая 2020 г.

MPНТИ 70.21.39

doi: 10.29258/CAJWR/2020-R1.v6-1/44-74.rus

Аннотация

Хозяйственная деятельность человека и изменение климата ведут к деградации водно-болотных угодий во всем мире. При этом Центральная Азия (ЦА) входит в число наиболее пострадавших от этого процесса регионов. В рамках настоящего исследования проанализирована динамика изменений водно-болотных угодий (ВБУ) в центральноазиатском регионе за последние два десятилетия с особым вниманием к внутренним ВБУ, охраняемым в качестве международных зон обитания птиц и биоразнообразия. Для целей анализа были сформированы временные ряды карт ВБУ (т.е. тростниковых зарослей) за 2000, 2005, 2010, 2015 и 2018 гг. При анализе применялся подход управляемой классификации значений нормализованного относительного индекса растительности (НОИР) (англ., Normalised Difference Vegetation Index, NDVI), полученных при обработке спутниковых снимков MODIS с разрешением 1000 м за соответствующие годы. Наземные контрольные точки были определены во время полевых выездов в низовье реки Чу, верховье и дельту реки Или в Казахстане, а также в дельту реки Амударья и Нижне-Амударьинский государственный биосферный резерват в Узбекистане. Примененный метод не подходит для классификации ВБУ в северной части Казахстана, так как преобладающий там растительный покров слишком схож с водно-болотной растительностью по своим показателям и сезонным колебаниям НОИР. Для остальной части района исследования примененный метод дал удовлетворительные результаты. Следует отметить, что выявление общей динамики развития для большинства водно-болотных угодий представляется весьма сложной задачей ввиду значительной межгодовой изменчивости. Настоящее исследование стало первой попыткой изучения ВБУ Центральной Азии в региональном масштабе. Полученные результаты дают основу для дальнейших более детальных тематических исследований либо посредством полевых выездов, либо на основании данных дистанционного зондирования с более высоким разрешением.

Ключевые слова: тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), картирование, MODIS, дистанционное зондирование, НОИР.

Тип статьи: научная статья.

1. Введение

Начиная с 1700-х гг. н.э. среднее долгосрочное сокращение площади естественных водно-болотных угодий во всем мире составило 54-57%, а иногда даже доходило до 87%. В XX-м и в начале XXI века этот показатель значительно вырос. При этом с 1900-х гг. н.э. площадь водно-болотных угодий сократилась на 64-71% (Davidson, 2014). ВБУ, включая речные системы, по-прежнему раздроблены и продолжают деградировать, что негативно сказывается на качестве экосистемных услуг (Leadley et al., 2014). В настоящее время все еще отсутствует единая глобальная карта водно-болотных экосистем, ввиду чего растет потребность в точном пространственном картировании поверхностных континентальных вод в целях сохранения ВБУ и связанных с ними биоразнообразия и экосистемных услуг, например, снабжение пресной водой, и управления ими (Fluet-Chouinard et al., 2015; Ramsar Convention Secretariat, 2016).

Центральная Азия является регионом мира с наибольшим количеством бессточных (т.е. закрытых) речных бассейнов, включающих в себя несколько тысяч озер (Aizen et al., 2007; Yariyev et al., 2019; Yariyev et al., 2017). Географически центральноазиатский регион в основном состоит из засушливых зон. Таким образом, здесь вода является важнейшим фактором сохранения существующих природных экосистем и связанного с ними биоразнообразия (Imantai et al., 2015). Источниками воды в засушливых районах является талая вода, образующаяся при таянии горных снегов и ледников, и атмосферные осадки (Imantai et al., 2015). Распределение растительного покрова преимущественно обусловлено динамикой колебаний количества атмосферных осадков и температуры (Aralova et al., 2016). Этими же факторами определяются и возможности с точки зрения различных видов землепользования. В полузасушливых и засушливых зонах реки и внутренние водоемы являются основными пресноводными источниками (Klein et al., 2014), что согласуется с расположением вдоль рек наиболее продуктивных и биологически разнообразных экосистем (Ogar, 2003), таких как тростниковые заросли (Thevs et al., 2007) и прибрежные (тугайные) леса (Thevs et al., 2012). Таким образом, водоемы и водно-болотные угодья крайне важны с экологической и экономической точек зрения. Кроме этого, водно-болотная растительность играет ключевую роль в экологической устойчивости сильно увлажненных земель (Adam et al., 2010). Хозяйственная деятельность и изменение климата ведут к истощению континентальных водных ресурсов по всей планете. При этом ЦА входит в число наиболее пострадавших от этого регионов (Yariyev et al., 2019). Воздействие изменения климата, в том числе перемена режимов испарения воды и выпадения осадков, является причиной значительных изменений водоемов в Центральной Азии (Lioubimtseva and Henebry, 2009). Так, на горных хребтах Тянь-Шаня и Памир-Алая, в основном в Кыргызстане и Таджикистане, уже существенно сократились площади ледников и снежников. Прежде

всего это обусловлено более высокими средними температурами в ледниково-снеговой зоне вплоть до сентября. В северных предгорьях Тянь-Шаня также наблюдается значительное потепление, особенно в зимний период (Klein et al., 2014). Такая тенденция к потеплению ведет не только к более интенсивному испарению влаги в оазисах бассейна, но и к значительному отступлению ледников в горных районах. Wang et al. (2018) смоделировали для Центрального Тянь-Шаня в северо-западном Китае, Казахстане и Кыргызстане следующее уменьшение площади ледников в период с 1989 по 2015 гг.: 2D – на 404 км² (-8,1%) и 3D – на 516 км² (-7,9%). Для некоторых рек уже наблюдается изменение максимальных значений сезонного стока; для них же прогнозируется еще большее сокращение летнего стока, если осадки и талые воды из зон вечной мерзлоты не будут в достаточной степени компенсировать текущий и растущий дефицит воды (Yu et al., 2019). Вместе с тем далее – после достижения критической отметки скорости таяния ледников – в верхнем бьефе ожидается уменьшение стока в реки, что окажет значительное влияние, в том числе, и на водно-болотные угодья (Imantai et al., 2015; Kuenzer et al., 2015). В этой связи рекомендуется продолжать мониторинг ситуации в будущем. Забор воды, в основном для орошения и выработки гидроэлектроэнергии, оказывает негативное воздействие на водоемы, в том числе ведет к обмелению и исчезновению озер и ВБУ. При этом строительство водохранилищ и ускоренное таяние ледников ведут к образованию новых водоемов и водно-болотных угодий. Такие экологические проблемы как опустынивание, засоление, деградация растительности и сокращение биоразнообразия тесно связаны с нехваткой воды и уменьшением площади озер (Рисунок 1.) (Bai et al., 2012; Lioubimtseva et al., 2005; Saiko and Zonn, 2000). Множество исследований, проведенных за последние десятилетия, позволили выявить значительные экологические, морфологические и территориальные изменения различных внутренних водоемов и озер (Klein et al., 2014).



Рисунок 1. Засоление озера Судочье, Узбекистан. Засоление представляет собой экологическую проблему, связанную с уменьшением площади озера.

По мере отступления воды накапливаются солевые отложения (белые участки), и кустарники (всходы красного тамариска) заменяют тростниковые заросли.

Помимо забора воды и таяния ледников для водно-болотного биоразнообразия дельты реки Или и южной части озера Балхаш описан ряд других угроз: пожары от разжи-гаемых местными скотоводами костров, заготовка топливной древесины, чрезмерный вылов рыбы, чрезмерный выпас скота, загрязнение воды (Imentai et al., 2015). Таким образом, точные наборы данных и временные ряды для водоемов и ВБУ могут спо-собствовать улучшению понимания природной изменчивости и человеческого взаимо-действия в Центральной Азии. Точное пространственное определение и мониторинг ВБУ важны для оценки фактических движущих сил соответствующих процессов в прошлом, настоящем и будущем. Эта информация также необходима для дальнейшей реализации целевых политик и принятия решений в сфере устойчивого управления земельными и водными ресурсами (Klein et al., 2014). В частности, речные дельты представляют собой высокодинамичные системы, полное понимание общей текущей ситуации, равно как и внутригодовой и долгосрочной динамики, в которых, играет важную роль в обеспечении рационального управления природными ресурсами (Kuenzer et al., 2015).

Настоящее исследование ставило своей целью заполнить пробелы в данных о пространственном распределении ВБУ в Центральной Азии посредством анализа данных дистанционного зондирования с низким разрешением. Конечная цель заключалась в изучении изменений в распределении водно-болотных угодий в период с 2000 по 2018 гг., т.е. в изучении общих тенденций и выявлении подверженных риску районов. Настоящее исследование можно рассматривать в качестве первого шага на пути анализа динамики распределения ВБУ в Центральной Азии, поскольку позволяет выявить зоны, в которых водно-болотные угодья сокращаются или увеличиваются, соответственно. В рамках настоящей первой попытки анализа соответствующие изменения не получили количественного, т.е. в гектарах площади, выражения. Вместо этого, исследовательской группой были созданы временные ряды карт ВБУ в Центральной Азии за 2000, 2005, 2010, 2015 и 2018 гг. в контексте описанной выше общей ситуации с соответствующими объектами на уровне всего региона.

2. Район исследования

В состав района исследования вошли пять постсоветских республик: Казахстан (площадь 2 724 900 км²), Кыргызстан (площадь 199 900 км²), Таджикистан (площадь 143 100 км²), Туркменистан (площадь 491 250 км²) и Узбекистан (площадь 447 400 км²), общая площадь которых составляет приibl. 5,5 млн км² (Klein et al., 2014). Рассматриваемая территория простирается от Каспийского моря на западе до Тянь-шаньских гор и границ Китая на востоке, границ России на севере и Ирана и Афганистана на юге. В ландшафте центральноазиатского региона преобладают холмистые равнины, плоские низины и плато (Klein et al., 2014). Большая часть территории находится на высоте до 200 м выше уровня моря, но также встречаются мас-

сивные горные хребты высотой до 7 495 м (пик Исмоила Сомони, Памирские горы, Таджикистан) (Aralova et al., 2016).

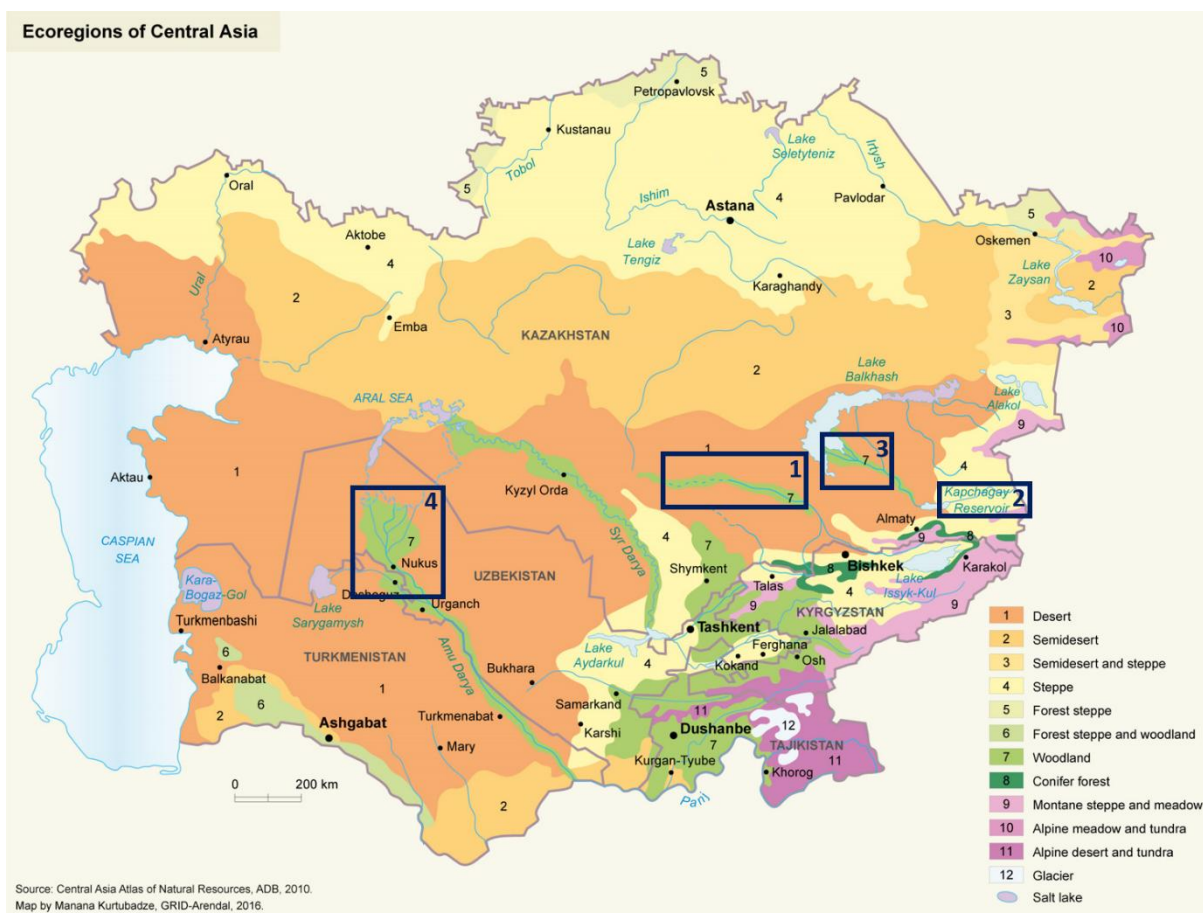


Рисунок 2. Экорегионы Центральной Азии. Прямоугольниками отмечены зоны, в которых проводились полевые работы: 1 – низовье реки Чу, 2 – верховья рек Или и Чарын, 3 – дельта реки Или, 4 – дельта реки Амударья и Нижне-Амударьинский государственный биосферный резерват (адаптировано по материалам "Адаптация к изменению климата в горных районах Центральной Азии", 2017).

Большую часть территории Центральной Азии занимают степные и пустынные экосистемы с редкой растительностью, а также кустарниковыми сообществами разной степени сомкнутости (Ogar, 2003). В горных районах (Алтай, Тянь-Шань, Памир) преобладают горные лугопастбищные угодья и заросли кустарников, в том числе хвойных кустарников умеренного пояса (Aralova et al., 2016). Согласно российской классификации растительного покрова водно-болотная растительность в ЦА представлена тростниковыми зарослями, прибрежными (тугайными) лесами, галофитными и пустынными лугопастбищами и кустарниками (Ogar, 2003). Из перечисленных доминируют тростниковые заросли. Они либо периодически, либо постоянно погружены в воду и характеризуются преимущественно маловидовой

растительностью с преобладанием *Phragmites australis* (тростник обыкновенный) (Ogar, 2003). Вегетационный период в районе исследования длится с апреля/мая по сентябрь/октябрь и в основном зависит от переменных температуры и осадков (Klein et al., 2012).

Климат в Центральной Азии варьируется от умеренного до резко континентального и от засушливого до полузасушливого с очень жарким и сухим летом и очень холодной зимой (Aralova et al., 2016; Lioubimtseva and Henebry, 2009). Между северными и южными, а также между низменными и высокогорными зонами наблюдается значительная разница по температурам и количеству осадков. Среднегодовой объем осадков также зависит от зон растительности и варьируется от 80 до 150 мм/год в пустынной местности, от 200 мм/год в южной до 400 мм/год в северных степных зонах и в пределах 600-800 мм/год в горных районах (Klein et al., 2014).

3. Материалы и методы

Водно-болотные угодья в исследуемом регионе были картированы с применением нормализованного относительного индекса растительности (НОИР) на основе визуализации снимков спектрорадиометра среднего разрешения (MODIS) за 2000, 2005, 2010, 2015 и 2018 гг. ВБУ нанесены на карту по методу управляемой классификации. Снимки MODIS за 2018 г. послужили основой для сопоставления полученных данных подспутниковых наблюдений с целью разработки дерева решений для управляемой классификации. При картировании ВБУ основное внимание уделялось картированию зон с тростниковыми зарослями, так как они являются наиболее продуктивными водно-болотными экосистемами в Центральной Азии.

3.1. Дистанционное зондирование как инструмент для картирования ВБУ

Методы дистанционного зондирования позволяют получать своевременную, актуальную и относительно точную информацию для создания наборов данных в целях устойчивого и эффективного управления водно-болотной растительностью (Adam et al., 2010). Хотя оптические датчики не могут делать снимки в облачную погоду, данные датчиков с низкой разрешающей способностью для ежедневного сбора данных, такие как системы MODIS, могут служить хорошей и доступной альтернативой радиолокационным данным с ограниченной доступностью. Ряд исследователей использовали данные MODIS с пространственным разрешением 250 м для картирования водоемов, наводнений и динамики затопления (Kuenzer et al., 2015). Данные MODIS VI позволяют определять фенологические фазы водно-болотных растений, изучать реакцию ВБУ на экологические изменения и классифицировать типы растительности (Petus et al., 2013; Sims and Colloff, 2012; Zhao et al., 2009).

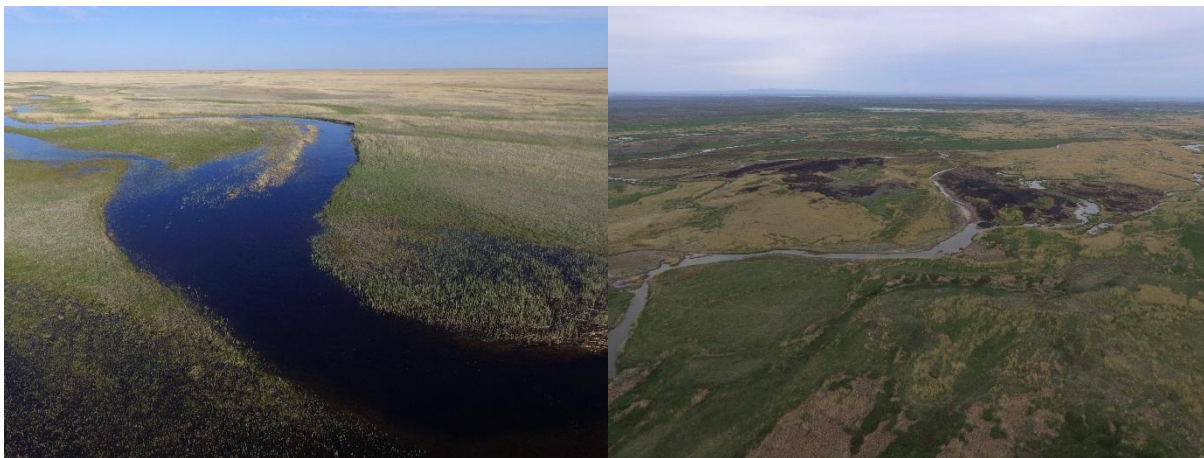


Рисунок 3. Типы водно-болотной растительности. В настоящем исследовании изучались два типа водно-болотной растительности: погруженный (слева) и непогруженный в воду (справа) тростник.

Дистанционное зондирование водно-болотной растительности является сложной задачей (Adam et al., 2010). Одной из основных проблем при определении различий между типами растительности в сложных средах, таких как ВБУ, является то, что часто разные типы растительности демонстрируют схожие спектральные характеристики на снимках дистанционного зондирования (Xie et al., 2008). Одним из примеров этого феномена может служить аналогичный спектральный профиль водно-болотной растительности и орошаемых сельскохозяйственных угодий. Другая проблема связана с так называемыми смешанными пикселями, т.е. с ситуацией, когда один пиксель охватывает два или более разных типа растительности, подлежащих классификации. Применение попиксельных классификаторов для снимков, на которых преобладают такие смешанные пиксели, зачастую не обеспечивает удовлетворительных результатов, т.е. ведет к неточной классификации (Adam et al., 2010).

С целью картирования водно-болотных угодий в Европе, Австралии и Соединенных Штатах Америки и определения их характеристик, в основном для оценки сред обитания и кадастровых исследований в целях сохранения природы проводились много-численные исследования, в которых преимущественно использовались наборы оптических данных с более высоким разрешением (от 0,6 м до 30 м) (Landmann et al., 2010). Мелкомасштабная и разновременная съемка значительно повышает детализацию и точность гидрологии ВБУ и гетерогенности водно-болотной растительности. Вместе с тем существует мнение, что точное определение характеристик водно-болотных угодий на больших территориях может быть существенно ограничено низкой периодичностью временного пересмотра даже при использовании снимков с высоким разрешением (Landmann et al., 2010). Для определения характеристик динамики изменений ВБУ предлагается использовать временные ряды спутниковых снимков с пространственным разрешением от 250 до 1

000 м в сочетании с пассивными/активными данными радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) и другими вспомогательными данными по топографии, климату и почве. Применение технологии обработки больших массивов данных для выборочных наборов данных и классификация масштабных спутниковых снимков с использованием метода дерева классификации могут способствовать дальнейшему повышению точности карт водно-болотных угодий (Hu et al., 2017). В свою очередь, точные наборы данных по ВБУ незаменимы для разработки политик в области сохранения ВБУ и биоразнообразия, а также надлежащего землепользования и изучения глобальных изменений климата (Hu et al., 2017). Для будущих глобальных наборов данных по водно-болотным угодьям рекомендуется использовать иерархическую и гибкую структуру систем классификации ВБУ, согласующуюся с определением Рамсарских угодий (Hu et al., 2017).

Klein et al. (2014) резюмировали, что данные со средним разрешением в 1 x 1 км можно эффективно использовать для определения площадей внутренних водоемов в континентальном масштабе с высоким временным разрешением, поскольку они позволяют регистрировать состояние водоемов в прошлом и проводить анализ факторов и наблюдаемых изменений, отраженных в исследовании изменений водоемов в Центральной Азии в период с 1986 по 2012 гг.

НОИР успешно применяется для количественной оценки фотосинтетической активности и измерения динамики растительности во многих биомах (Petus et al., 2013). Что касается Большого Артезианского бассейна в Австралии, то НОИР, полученные по спутниковым снимкам QuickBird, свидетельствуют о наличии правильной корреляции с растительным покровом ВБУ (White and Lewis, 2011). В настоящем исследовании НОИР использовался в качестве показателя активности околоводной и водной растительности в пределах ВБУ во время засухи (Landmann et al., 2010). Применение НОИР в условиях высокой биомассы может быть ограничено так называемым асимптотическим эффектом насыщения. Однако это не актуально при изучении засушливых территорий Центральной Азии, поскольку в этом районе исследования отсутствуют условия исключительно высокой биомассы (Adam et al., 2010).

3.2. Источники данных

3.2.1. Данные дистанционного зондирования

Настоящее исследование было проведено с применением спектра НОИР продукта MODIS MOD13A3 V6, полученного с веб-сайта: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Центральная Азия, т.е. пять рассмотренных в настоящем исследовании стран, полностью покрыта восьмью соответствующими фрагментами (h21v4, h21v3, h22v5, h22v4, h22v3, h23v5, h23v4, h23v3). Файлы были конвертированы из формата hdf в GEOTIFF с помощью программного обеспечения Modis Reprojection Tool (Dwyer and Schmidt, 2006). Для дальнейшей обработки все фрагменты были спроецированы на

зону 42N WGS84/UTM (универсальная поперечная проекция Меркатора). Для охвата вегетационного периода использовались снимки за месяцы с апреля по октябрь. Не входящий в вегетационный период зимний сезон не рассматривался, поскольку большинство водоемов покрыты льдом и, следовательно, данные по ним не могут использоваться в рамках примененного подхода (Klein et al., 2014). С вебсайта Diva GIS были загружены шейп-файлы с границами пяти стран (<http://www.diva-gis.org/>). Цифровая модель рельефа Центральной Азии была получена с помощью данных многооразового транспортного космического корабля для отработки радиолокационной топографии (SRTM) НАСА. В июле 2018 г. международная организация по защите птиц BirdLife International предоставила по запросу шейп-файлы ключевых орнитологических территорий (КОТР). Анализ выполнялся с использованием двух геофизических программных продуктов QGIS Desktop (верс. 2.18.28 и 3.4.3, включая Google Satellite Plugin) и GRASS GIS (верс. 6.4.3).

3.2.2. Данные подспутниковых наблюдений, собранные во время полевых выездов

В общей сложности было выполнено три полевых выезда для определения наземных контрольных точек (НКТ), в последующем использованных для формирования управляемой классификации (использовался GeoSetter 3.5.0).

Таблица I.). Расположение каждой НКТ было зафиксировано в координатах UTM с помощью GPS-устройств (Garmin eTrex® H и Garmin GPS 60). Параллельно собирались данные по окружающим типам растительности, включая расчетный поверхностный покров [%] основных видов растений. Кроме того, была зафиксирована информация о рельефе и размерах района наблюдения. В каждой НКТ были сделаны снимки типа растительности. Во время полевых выездов в Казахстане с помощью дрона в нескольких местах были сделаны снимки для получения общего представления о территории и пространстве за границами тростниковых зарослей. Кроме этого, при проведении работ использовался GPS-фототрекер, который постоянно фиксировал местоположение с периодичностью один раз в минуту. В конце дня координаты объединялись со снимками с камеры. Таким образом, была собрана информация о приблизительном расположении мест на всех снимках, сделанных во время поездок, включая снимки, сделанные на ходу из окна автомобиля. Помимо перечисленных в использовался GeoSetter 3.5.0.

Таблица I. полевых выездов, НКТ определялись с помощью фототрекера во время поездок в дельту реки Или в юго-восточной части Казахстана в июне 2018 г. и в Коргалжинский государственный природный заповедник (включая озеро Тенгиз) на севере Казахстана в июле 2018 г. Для загрузки координат с GPS-устройства использовалось программное обеспечение EasyGPS (верс. 6.11.0.0) и GPS TrackMaker (верс. 13.0.0.600). Кроме этого, для визуализации снимков с координатами, полученными с помощью фототрекера, использовался GeoSetter 3.5.0.

Таблица I. Полевые выезды в 2018 г. для определения наземных контрольных точек.

Дата	Место
25 апреля - 1 мая	Река Чу (<i>также</i> каз. Шу, кирг. Чүй/Чүй), Казахстан; между селом Мойынкум на востоке и селом Жайлауколь на западе, включая территорию к северу от села Уланбель
21-25 мая	Реки Или и Чарын (<i>также</i> каз. Шарын), Казахстан; Ясеновая роща, отрезок прибрежного леса вдоль реки Чарын, в нескольких местах вдоль верховья реки Или к востоку от села Чунджа и в разных местах к западу от села Аралтобе в дельте реки Или
25-26 октября	Район дельты реки Амударьи, Узбекистан; между городами Кунград на юге и Муйнак на севере. Вокруг озера Судочье, рядом с селом Токмак, на водно-болотных угодьях к востоку от Муйнака и на остальных водно-болотных угодьях к югу от Муйнака вдоль сел Шагырлык, Кызылхар и Шеге, а также в одном месте на берегу реки Амударья далее к югу
27 октября	Нижне-Амударьинский государственный биосферный резерват (включая бывший природный заповедник Бадай-Тугай), Узбекистан; примерно в 80 км к северо-западу от города Ургенч

3.3. Картирование водно-болотных угодий в Центральной Азии

Картирование осуществлялось по методу управляемой классификации (Рисунок 4.). НОИР рассчитывались по двунаправленным коэффициентам отражения поверхности для ближнего инфракрасного (NIR = 648 нм) и красного (RED = 858 нм) спектров MODIS, как указано ниже: $(NIR - RED)/(NIR + RED)$ (Huete et al., 2002).

Сначала определенные во время полевых выездов НКТ использовались для маркировки конкретных пикселей MODIS соответствующим типом растительности в целях создания тренировочного (учебного) набора данных. Таким образом было выделено 13 разных типов растительности, а именно: погруженный в воду тростник;

непогруженный в воду тростник; смесь погруженного в воду тростника и пустыни; тугайный лес; смесь тугайного леса и воды; смесь тугайного леса и пустыни; смесь тугайного леса и степи; южная степь; средняя степь; степь, соединенная с грунтовыми водами; кустарники; полупустыня и пустыня. Затем для маркированных пикселей были проанализированы значения НОИР за месяцы с апреля по октябрь 2018 г. (Рисунок 12.).

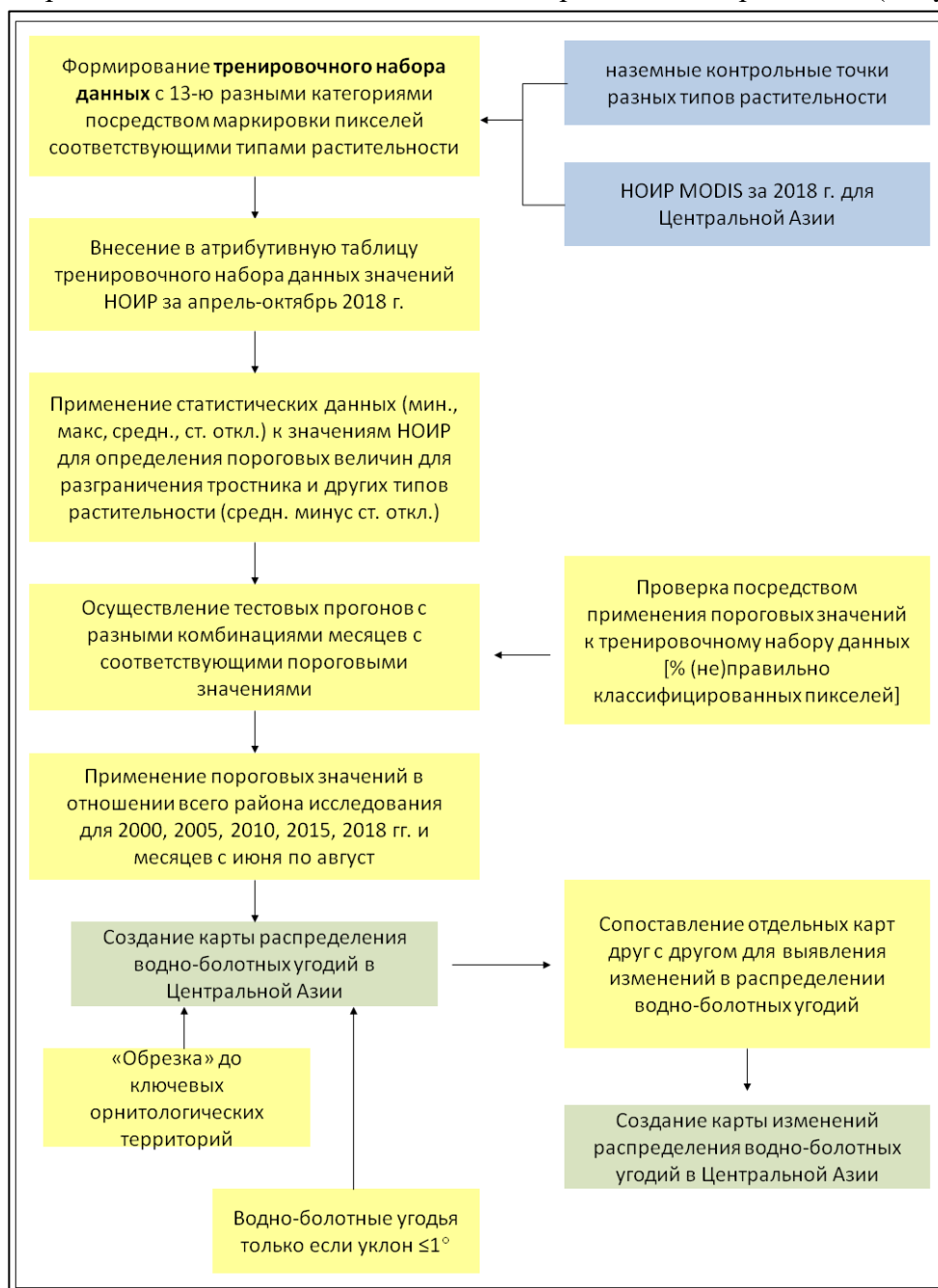


Рисунок 4. Процесс картирования ВБУ по методу управляемой классификации.

Пороговые значения были изучены с целью проведения различий между территориями с тростником и всеми другими типами водно-болотной растительности, а также степью, полупустыней и пустыней. В качестве порогового значения для каждого месяца и типа растительности использовалось среднее значение за вычетом стандартного отклонения. Было выполнено несколько тестовых прогонов для определения сочетания месяцев и пороговых значений, обеспечивающих наилучшие результаты. В целях проверки их правильности рассчитанные с помощью разных комбинаций значения были применены для составления предварительного набора данных для разных типов растительности. Для ряда правильно и неправильно классифицированных точек были рассчитаны процентные значения (Таблица). Наиболее результативным оказалось использование комбинации пороговых значений для июня, июля и августа с условием «И».

Затем вышеперечисленные пороговые значения были применены в отношении 2000, 2005, 2010, 2015 и 2018 гг. Две проблемы, связанные с картированием водно-болотных угодий в Центральной Азии, заключаются в том, что НОИР для горных лесов и (орошаемых) сельскохозяйственных угодий также высоки, как и для зарослей тростника. Поскольку в ЦА естественные лесные массивы, за исключением тугайных лесов, как правило встречаются в горных районах, для их исключения была использована цифровая модель рельефа. Любая территория, расположенная на склоне с уклоном от 1 градуса, не классифицировалась как ВБУ. Трудно провести различия между водно-болотными угодьями и территориями, используемыми для (орошаемого) земледелия. Во избежание этого в настоящем исследовании основное внимание уделялось охраняемым ВБУ. Первоначально планировалось сконцентрировать внимание на Рамсарских угодьях, однако шейп-файлы для них на территории ЦА получить не удалось. Таким образом, основное внимание было уделено ключевым орнитологическим территориям – по определению BirdLife International имеющим глобальное значение для сохранения популяций птиц на основании международного согласованного набора критериев. В рамках настоящего исследования рассматривались только КОТР, обозначенные как «водно-болотные угодья (внутренние)» на веб-сайте <http://datazone.birdlife.org/site/search> (19.02.2019). Все полученные в результате карты ВБУ также были обрезаны до территорий, охраняемых как КОТР, посредством применения шейп-файла КОТР в качестве маски. Акцентирование внимания на КОТР позволило выделить территории, которые особенно важны для сохранения природы и, следовательно, являются приоритетными с точки зрения принятия решений в будущем. Некоторые КОТР также являются Рамсарскими угодьями.

Для изучения изменений в распределении водно-болотных угодий с течением лет приведенные выше результаты за отдельные годы были сопоставлены с результатами за периоды 2000-2005, 2005-2010, 2010-2015, 2015-2018 и 2000-2018 гг., и было выделено четыре категории изменений: (1) наличие водно-болотных угодий в обоих годах = 1, (2) отсутствие водно-болотных угодий в обоих годах = 2, (3) наличие водно-

болотных угодий в первом году и их отсутствие во втором = 3 (уменьшение), (4) отсутствие водно-болотных угодий в первом году и их наличие во втором = 4 (увеличение).

4. Результаты

Благодаря использованию сочетания пороговых значений за июнь, июль и август с условием «И» в качестве «тростника» было квалифицировано 80% тренировочных пикселей погруженного в воду тростника и 65% непогруженного в воду тростника (Таблица II). 16% смешанных пикселей погруженного в воду тростника и пустыни было классифицировано как «тростник». Все эти пиксели принадлежали мозаичному ландшафту в дельте Или, по результатам более 50% площади которой было покрыто тростником. 14% точек, ошибочно классифицированных как «тростник», составляли точки, расположенные рядом с тростниковыми зарослями, или пиксели с большим количеством кустарников и меньшим количеством тростника. Что касается 19% точек тугайного леса, ошибочно классифицированных как «тростник», следует отметить, что все они располагались в дельте реки Или и вдоль ее верховья, где ландшафт представлял собой мозаику участков, покрытых тугайным лесом и непогруженным в воду тростником. В случае точек, отмеченных в Нижне-Амударьинском государственном биосферном резервате, которые представляли собой исключительно растительность тугайных лесов, ни одна из них не была классифицирована как «тростник». То же самое касается точек смешанной категории тугайного леса и воды.

Таблица II. Проверка наземных контрольных точек. Пиксели классифицировались как «тростник», если по состоянию на июнь 2018 г. НОИР был больше 4 437, на июль 2018 г. – 4 707 и на август 2018 г. – 4 287.

	Тростник_влажный	Тростник_сухой	тростник_влажный_Пустыня_смесь	Тугайный лес_Вода_смесь	Тугайный лес_тугайный	лес_Степь_смесь	Пустыня_смесь	Степь_юг	Степь_середина	Степь_грунтовые воды	Кустарник	Полупустыня	Пустыня
Кол-во точек, классифицированных как тростник	324	33	9	5	8	3	3	0	5	22	11	0	0

Кол-во точек, не классифицированных как тростник	81	18	46	29	34	10	35	69	58	1	68	49	207
--	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	-----

Продолжение таблицы II

	Тростник_влажный	Тростник_сухой	Тростник_влажный_пустыня_смесь	Тугайный лес_Вода_смесь	Тугайный лес_тугайный	лес_Степь_смесь	Пустыня_смесь	Степь_юг	Степь_середина	Степь_грунтовые воды	Кустарник	Полупустыня	Пустыня
Кол-во точек для типа растительности	405	51	55	34	42	13	38	69	63	23	79	49	207
Кол-во точек, классифицированных как тростник [%]	80	65	16	15	19	23	8	0	8	96	14	0	0
Кол-во точек, не классифицированных как тростник [%]	20	35	84	85	81	77	92	100	92	4	86	100	100

В некоторых районах наблюдались изменения в распределении водно-болотных угодий, которые отражены на Рис. 5-9. Наиболее значительные изменения площади КОТР с водно-болотными угодьями обобщены в Таблица

Таблица III. Изменения площади водно-болотных угодий ключевых орнитологических территорий в Центральной Азии.

Ключевая орнитологическая территория	Страна	Период времени	Изменение
Келиф-Зейит	Туркменистан	2000-2005	увеличение в восточной части
		2005-2010	уменьшение
		2010-2018	увеличение
Сарыкамышское озеро	Узбекистан, Туркменистан	2000-2018	незначительное увеличение
Озеро Судочье	Узбекистан	2000-2015	увеличение

Озеро Жолдырбас	Узбекистан	2000-2018	незначительное увеличение
Плавни Амударьи рядом с Термезом	Узбекистан	2005-2015	незначительное увеличение
Арнасайская система озер, озеро Тузкан, Айдаркуль	Узбекистан	2005-2015	увеличение

Продолжение таблицы III

Ключевая орнитологическая территория	Страна	Период времени	Изменение
Водный заповедник Северной Чуйской долины	Кыргызстан	2000-2018	значительное увеличение
Долина Тулек	Кыргызстан	2000-2018	увеличение
Шардаринское водохранилище	Казахстан	2000-2018	уменьшение
Дельта реки Или	Казахстан	2010-2015	значительное уменьшение
		2015-2018	увеличение
Низовья реки Каратал	Казахстан	2000-2018	увеличение
Дельта реки Тентек	Казахстан	2010-2015	уменьшение
		2015-2018	увеличение
Дельта Черного Иртыша	Казахстан	2000-2018	уменьшение на западе, увеличение на востоке с колебаниями по времени
Западные и северные предгорья Калбинского хребта	Казахстан	2000-2018	значительное увеличение
Система озер Сарыкопа	Казахстан	2000-2005	увеличение
		2005-2010	уменьшение
		2010-2018	увеличение
Коргалжынский государственный природный заповедник	Казахстан	2000-2018	увеличение
Дельта реки Урал	Казахстан	2010-2018	уменьшение
Камыш-Самарские озера	Казахстан	2005-2018	уменьшение
Кушумские озера	Казахстан	2005-2018	уменьшение
Казахстанская часть дельты реки Волги–Жамбай	Казахстан	2005-2015	уменьшение
		2015-2018	увеличение
Малое Аральское море	Казахстан	2000-2015	увеличение

Озера дельты Сырдарьи	Казахстан	2000-2018	колебания в сторону увеличения и уменьшения
-----------------------	-----------	-----------	---

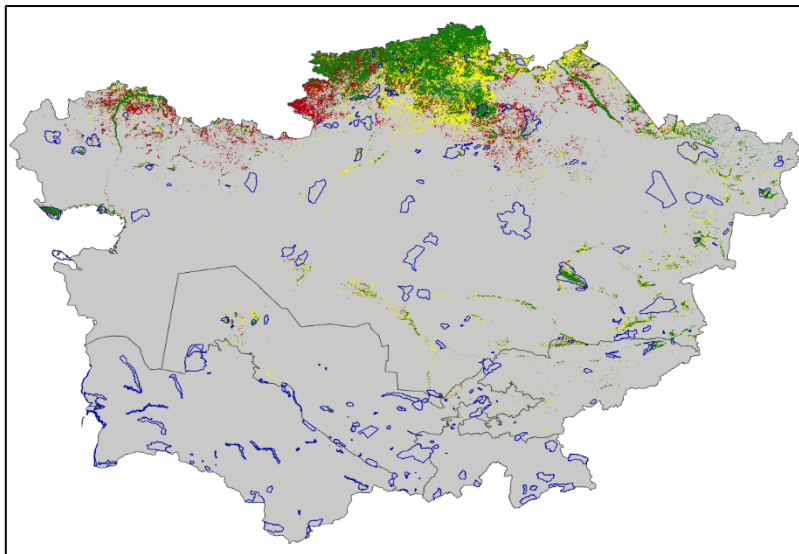


Рисунок 5. Результаты картирования изменений в распределении ВБУ в период с 2000 по 2005 гг. (зеленый = наличие водно-болотных угодий в обоих годах, серый = отсутствие водно-болотных угодий в обоих годах, красный = наличие водно-болотных угодий в 2000 г., но их отсутствие в 2005 г. (уменьшение), желтый = отсутствие водно-болотных угодий в 2000 г., но их наличие в 2005 г. (увеличение); серые линии = границы страны, синие линии = границы КОТР).

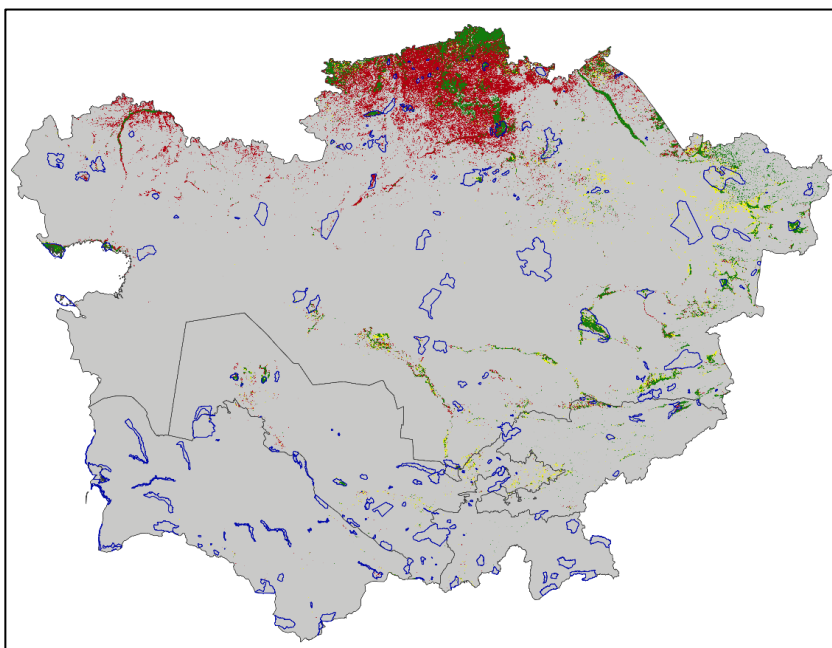


Рисунок 6. Результаты картирования изменений в распределении ВБУ в период с 2005 по 2010 гг. (зеленый = наличие водно-болотных угодий в обоих годах, серый =

отсутствие водно-болотных угодий в обоих годах, красный = наличие водно-болотных угодий в 2005 г., но их отсутствие в 2010 г. (уменьшение), желтый = отсутствие водно-болотных угодий в 2005 г., но их наличие в 2010 г. (увеличение); серые линии = границы страны, синие линии = границы КОТР).

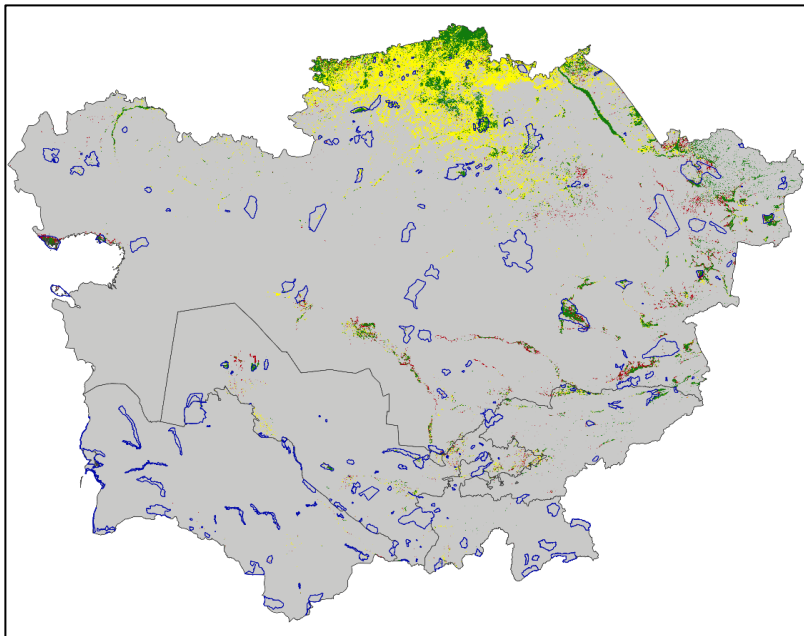


Рисунок 7. Результаты картирования изменений в распределении ВБУ в период с 2010 по 2015 гг. (зеленый = наличие водно-болотных угодий в обоих годах, серый = отсутствие водно-болотных угодий в обоих годах, красный = наличие водно-болотных угодий в 2010 г., но их отсутствие в 2015 г. (уменьшение), желтый = отсутствие водно-болотных угодий в 2010 г., но их наличие в 2015 г. (увеличение); серые линии = границы страны, синие линии = границы КОТР).

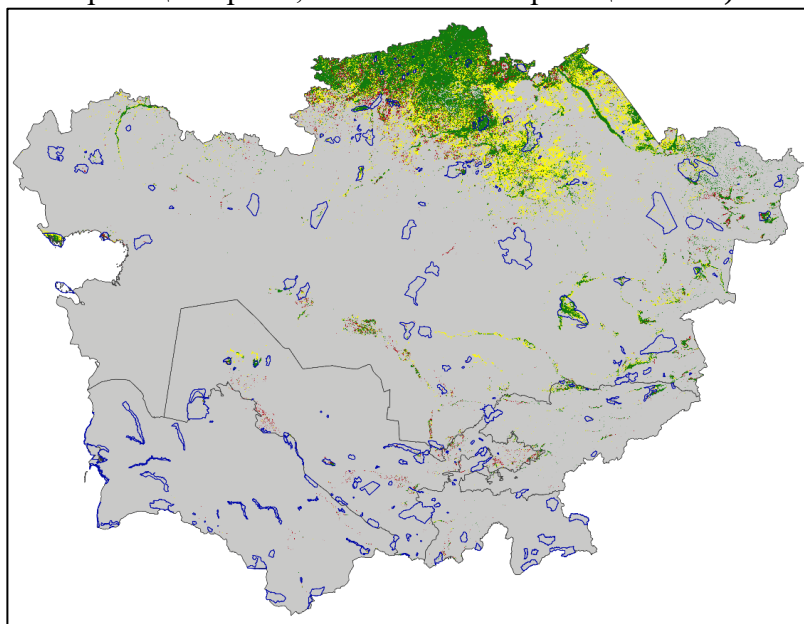


Рисунок 8. Результаты картирования изменений в распределении ВБУ в период с 2015 по 2018 гг. (зеленый = наличие водно-болотных угодий в обоих годах, серый = отсутствие водно-болотных угодий в обоих годах, красный = наличие водно-болотных угодий в 2015 г., но их отсутствие в 2018 г. (уменьшение), желтый = отсутствие водно-болотных угодий в 2015 г., но их наличие в 2018 г. (увеличение); серые линии = границы страны, синие линии = границы КОТР).

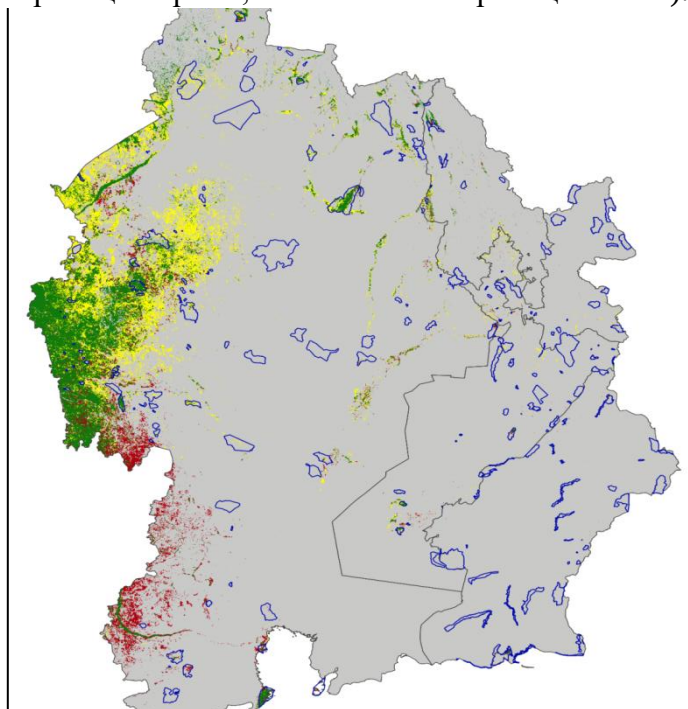


Рисунок 9. Результаты картирования изменений в распределении ВБУ в период с 2000 по 2018 гг. (зеленый = наличие водно-болотных угодий в обоих годах, серый = отсутствие водно-болотных угодий в обоих годах, красный = наличие водно-болотных угодий в 2000 г., но их отсутствие в 2018 г. (уменьшение), желтый = отсутствие водно-болотных угодий в 2000 г., но их наличие в 2018 г. (увеличение); серые линии = границы страны, синие линии = границы КОТР).

Для реки Чу, от поселения Байтал до ее исчезновения в западном направлении, наблюдались масштабные увеличения площади ВБУ в период с 2000 до 2005 гг., особенно вдоль ее самой западной оконечности. В период с 2005 до 2015 гг. площадь соответствующих водно-болотных угодий значительно сокращается, а затем снова расширяется (Рисунок 10.).

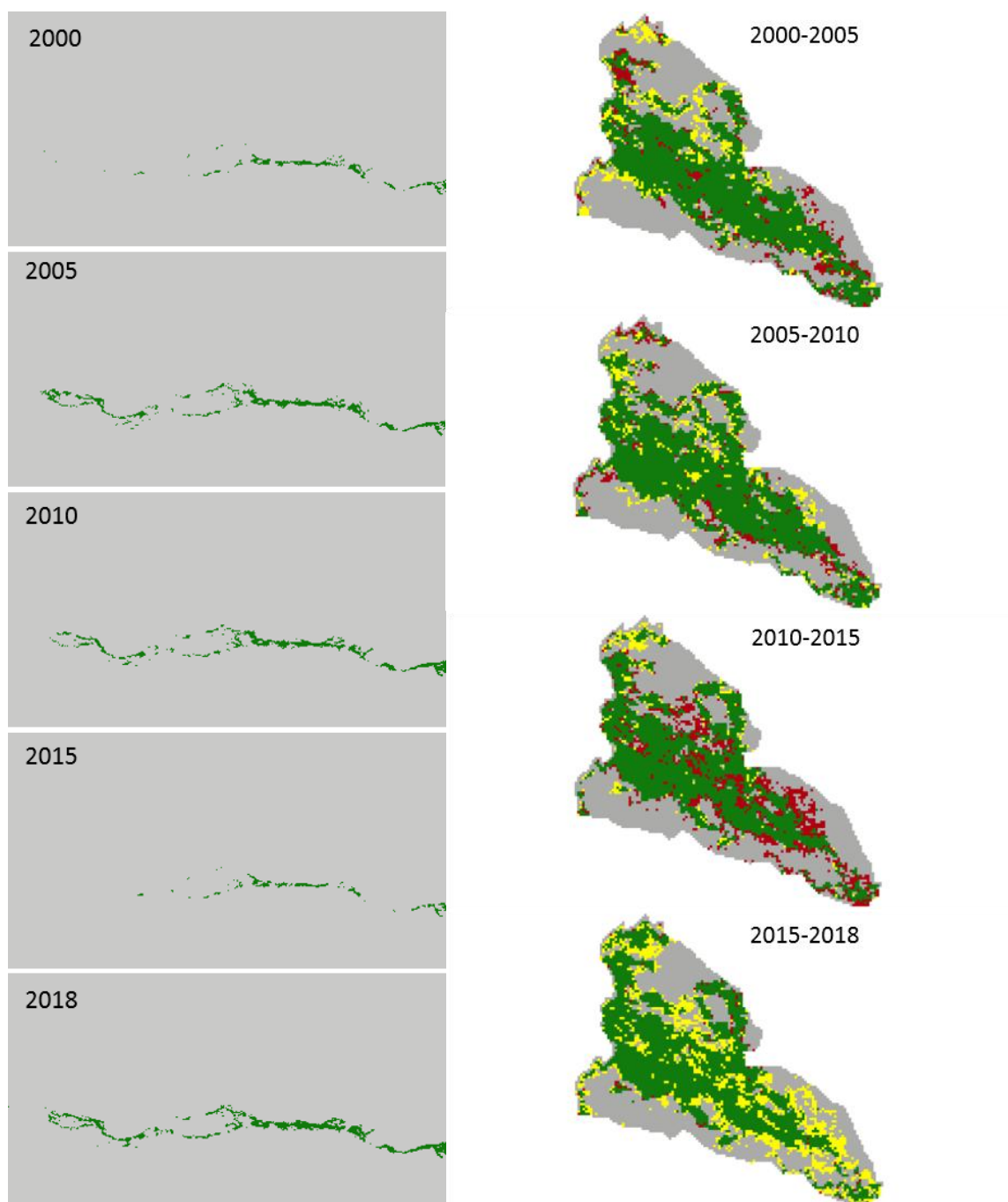


Рисунок 10. Распределение ВБУ вдоль реки Чу от поселения Байтал в западном направлении (слева); изменения в распределении водно-болотных угодий КОТР в дельте реки Или (справа). Северная часть Казахстана в основном была классифицирована как водно-болотные угодья (Рисунок 11.).

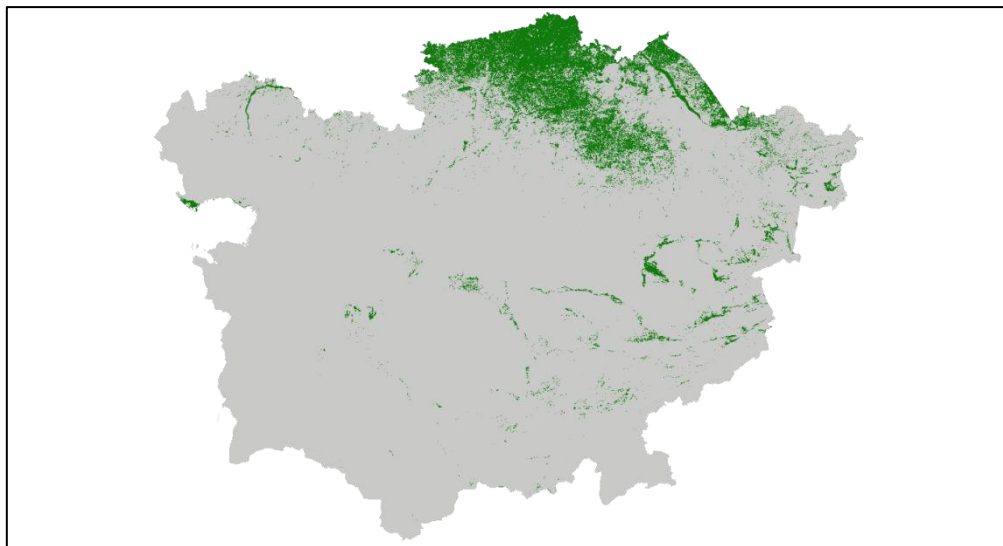


Рисунок 11. Результаты картирования распределения ВБУ в Центральной Азии в 2018 г. (зеленый = водно-болотные угодья, серый = отсутствие водно-болотных угодий).

5. Обсуждение

Результаты настоящего исследования дают предварительные данные о расположении водно-болотных угодий в Центральной Азии, в которых произошли те или иные изменения. Таким образом, полученные результаты могут использоваться в качестве указания на объекты, требующие приоритетного внимания с точки зрения дальнейших исследований или более тщательного наблюдения посредством либо полевых выездов, либо анализа данных дистанционного зондирования с более высоким разрешением. Так, например, в трех КОТР – дельта реки Урал, Камыш-Самарские озера и Кушумские озера – в период с 2000 по 2018 гг. наблюдалось непрерывное сокращение площади ВБУ, и поэтому они требуют дальнейшего изучения (см. Таблица III.).

Для большинства ВБУ трудно определить общую тенденцию, поскольку при сравнении отдельных лет наблюдается значительная изменчивость. Так, например, в 2005, 2010 и 2018 гг. по реке Чу площадь водно-болотных угодий была значительно больше, чем в 2000 и 2015 гг. (Рисунок 10.). Это коррелирует с данными по суммарному количеству осадков с 1 февраля по 31 мая метеостанции в Алматы, Казахстан за соответствующие годы. Суммарное количество осадков за этот период составило 365 мм в 2005 г., 343 мм в 2010 г., 280 мм в 2015 г. и 280 мм в 2018 г. (<https://rp5.ru/>; данные за 2000 г. отсутствуют). По данным метеостанции в Таразе, Казахстан, суммарное количество осадков составило 223 мм в 2005 г., 223 мм в 2010 г., 103 мм в 2015 г. и 122 мм в 2018 г. Аналогичным образом в КОТР в дельте реки Или наблюдаются нерегулярные колебания в сторону увеличения и уменьшения площади ВБУ для разных временных

периодов (Рисунок 10.). Общая тенденция не прослеживается. Чтобы лучше понять межгодовые колебания следует использовать расчеты за каждый год в период с 2000 по 2018 гг. Кроме этого, для изучения амплитуды колебаний будет полезно сравнить ситуации в очень сухой год и очень влажный год. Расчет изменений только по двум годам или за промежутки времени длиной в несколько лет, как это было сделано в настоящем исследовании, всегда может вести к неверному толкованию данных из-за риска выбора очень сухого года в качестве второго контрольного года, так как это может указать на резкое уменьшение площади ВБУ, хотя общая тенденция может быть иной, и наоборот (Perennou et al., 2018). Долгосрочные медленные изменения (напр., влияние уменьшения количества осадков на площадь водно-болотных угодий) трудно выявить в таких весьма изменчивых условиях (Perennou et al., 2018).

Уменьшение площади водно-болотных угодий КОТР Шардаринского водохранилища в 2010-2015 гг. могло быть связано со строительством Коксарайского водохранилища ниже по течению реки Сырдарьи в период с 2008 по 2011 гг. Возможно, вода из Шардаринского водохранилища перенаправлялась в Коксарайское водохранилище. Klein et al. (2012) наблюдали резкое увеличение площади зеркала Шардаринского водохранилища в 2000-2009 гг. и связывали неконтролируемое увеличение объема водохранилища с ростом количества талой воды. Как правило, площадь Шардаринского водохранилища значительно меняется от года к году в зависимости от количества снега, накопленного зимой в горах и питающего бассейн Сырдарьи, от контролируемого Кыргызстаном сброса воды, а также от количества воды, сбрасываемой из Шардаринского водохранилища в Арнасайскую впадину в Узбекистане (Klein et al., 2012).

Резкое обмеление Аральского моря в результате чрезмерного использования водных ресурсов широко обсуждается и рассматривается в качестве экологической катастрофы (Micklin, 2016). Чрезмерный забор воды для орошения и интенсивного земледелия из обоих притоков Аральского моря – Амударьи и Сырдарьи – ведет к значительному обмелению Аральского моря с 1960-х гг. (Micklin, 2016). В бассейне Амударьи наблюдается тенденция к значительному сокращению продолжительности сохранения снежного покрова и более раннему его таянию (Zhou et al., 2013). В 2005 г. правительство Казахстана в сотрудничестве со Всемирным банком завершило строительство Кокаральской плотины для спасения Малого Аральского моря (Klein et al., 2014). Результаты настоящего исследования свидетельствуют об увеличении площади ВБУ в южной части моря рядом с плотиной.

Настоящее исследование было сосредоточено только на картировании тростниковых зарослей и исключало другие типы водно-болотной растительности. Для картирования тугайных лесов целесообразнее использовать снимки более высокого разрешения, поскольку сохранившиеся тугайные леса обычно растут полосами вдоль рек (иногда шириной менее 200 м). В некоторых случаях (напр., в Нижне-Амударьинском государственном биосферном резервате) площадь тугайных лесов

составляет несколько квадратных километров, и их можно выявить при разрешении 1 000 м. Как правило, при существенной фрагментации ландшафта, анализ смешанных пикселей на снимках со средним или низким разрешением может приводить к некорректным выводам (Landmann et al., 2010). Агрегирование категорий растительного покрова в меньшее количество классов, как это было сделано в рамках настоящего исследования, для зон погруженного и непогруженного в воду тростника, может повысить точность тематических карт и, тем самым, уменьшить погрешности при классификации (Perennou et al., 2018).

Примененные методы не дают корректные результаты для северной части района исследования, т.е. для севера Казахстана. Обширные территории были классифицированы как водно-болотные угодья, хотя в реальности местность была преимущественно покрыта степной и лесостепной растительностью (Рисунок 2.). Так, например, КОТР в Алексеевских степных сосновых лесах была полностью классифицирована как ВБУ, даже несмотря на то, что она представляет собой «совокупность сухой луговой травы и растительности из овсяницы и ковыля перистого между насаждениями хвойного леса и редкими березовыми рощами» (BirdLife International, 2019). Аналогичная ситуация сложилась в отношении КОТР в Аманкарагайском бору. Значения НОИР для наземных контрольных точек влажного тростника и степи к северу от Тенгиз-Коргалжынской системы озер были весьма схожими не только по величине, но и по динамике изменений в течение всего вегетационного периода (Рисунок 12.). Климатический график для Кокшетау в северном Казахстане демонстрирует наибольшее количество осадков летом с максимальным показателем в июле (Klein et al., 2014). В результате этого степная растительность в этих районах остается зеленой до осени. Соответственно, значения НОИР в этих районах также относительно высоки даже в августе и сентябре. Что же касается остальной части района исследования, то при исключении горных территорий примененные методы обеспечивают удовлетворительные результаты в отношении выявления тростниковых зарослей. Как указывалось выше, сельскохозяйственные угодья исключались посредством концентрации внимания на КОТР. Для формулировки выводов относительно территорий за пределами КОТР и при отсутствии информации о них, необходимо предпринять дополнительные меры для разграничения тростниковых зарослей и сельскохозяйственных угодий. Это возможно при анализе более широких спектров на снимках MODIS, что позволит проверить наличие существенных различий между обоими типами растительности в любом из них.

Примененные методы имели следующие ограничения: (1) небольшие водно-болотные угодья не были выявлены из-за низкого разрешения снимков MODIS 1000 x 1000 м; (2) масштаб изменений не был выявлен (Perennou et al., 2018); (3) колебания в течение ряда лет не были выявлены, поскольку в настоящем исследовании анализировались снимки только за несколько лет в рамках определенного периода времени (Klein et al., 2014); (4) качество (общее состояние) экосистем, например,

воздействие качества воды, невозможно оценить только посредством использования данных MODIS (Bekturganov et al., 2016; Perennou et al., 2018; Törnqvist et al., 2011).

5. Заключение

Результаты настоящего исследования дают базовую информацию о районах в Цент-ральной Азии, в которых в период с 2000 по 2018 гг. произошли крупномасштабные изменения водно-болотных угодий. Полученные данные можно использовать в качестве указания на территории для проведения дальнейших и более подробных иссле-дований либо в рамках полевых выездов, либо путем использования данных дистанционного зондирования с более высоким разрешением, например, количест-венной оценки потерь площади, картирования других типов водно-болотной раститель-ности, таких как тугайный лес, мониторинга биоразнообразия, оценки качества воды и т.д. Если в будущем появятся шейп-файлы Рамсарских угодий в Центральной Азии, полученные карты ВБУ можно будет «обрезать» до соответствующих территорий, а также использовать их для наблюдения за изменениями в дополнительных охраняемых зонах.

Примененные методы не обеспечивают удовлетворительных результатов для классификации водно-болотных угодий в северной части района исследования, т.е. в на севере Казахстана. Преобладающая там растительность слишком схожа с водно-болотной растительностью (т.е. *Phragmites australis*) с точки зрения показателей и сезонности НОИР. Примененные в рамках настоящего исследования методы дают хорошие результаты для остальной части района исследования. Однако для большинства ВБУ трудно определить общую тенденцию, поскольку между годами наблюдаются значительные колебания.

Для получения более полного представления об изменениях в течение нескольких лет в качестве следующего шага можно применить один и тот же метод ко всем годам с 2000 по 2018 гг. Кроме этого, на амплитуду колебаний может указать сопоставление относительно влажного года и относительно сухого года. И то, и другое также будет способствовать более тщательному изучению общих тенденций. Для получения общих выводов о водно-болотных угодьях в Центральной Азии, можно использовать другие методы, которые позволят разграничить тростниковые заросли и сельскохозяйственные угодья, т.е. исключить из картирования последние. Аналогичные действия можно предпринять для получения более точных результатов для северной части Казахстана. Повышение температур в ЦА превышает среднемировой уровень. Это будет и дальше стимулировать повышение интенсивности испарения в засушливых районах и вести к сокращению количество снега и льда в горных районах. Для эффективного наблюдения за тем, как эти процессы будут влиять на распределение водных ресурсов и водно-болотных угодий, в частности, необходимо проведение постоянного мониторинга.

6. Благодарность

Полевые работы в Казахстане выполнялись при финансовой поддержке Sachsen-Leinen e.V и Центральноазиатской программы Всемирного центра агролесоводства (ICRAF). Полевые работы в Узбекистане финансировались посредством участия в Конкурсе студенческих исследований по устойчивому управлению природными ресурсами в ЦА и Афганистане 2018-2019 гг., организованном Казахстанско-немецким университетом в Алматы при поддержке проектов «Smart Waters» (AMP США) и «Программа по адаптации к изменению климата и смягчению его последствий в бассейне Аральского моря» (Всемирный банк). Кроме этого, авторы выражают признательность организации BirdLife International за любезно предоставленные шейп-файлы ключевых орнитологических территорий в Центральной Азии.

7. Список литературы

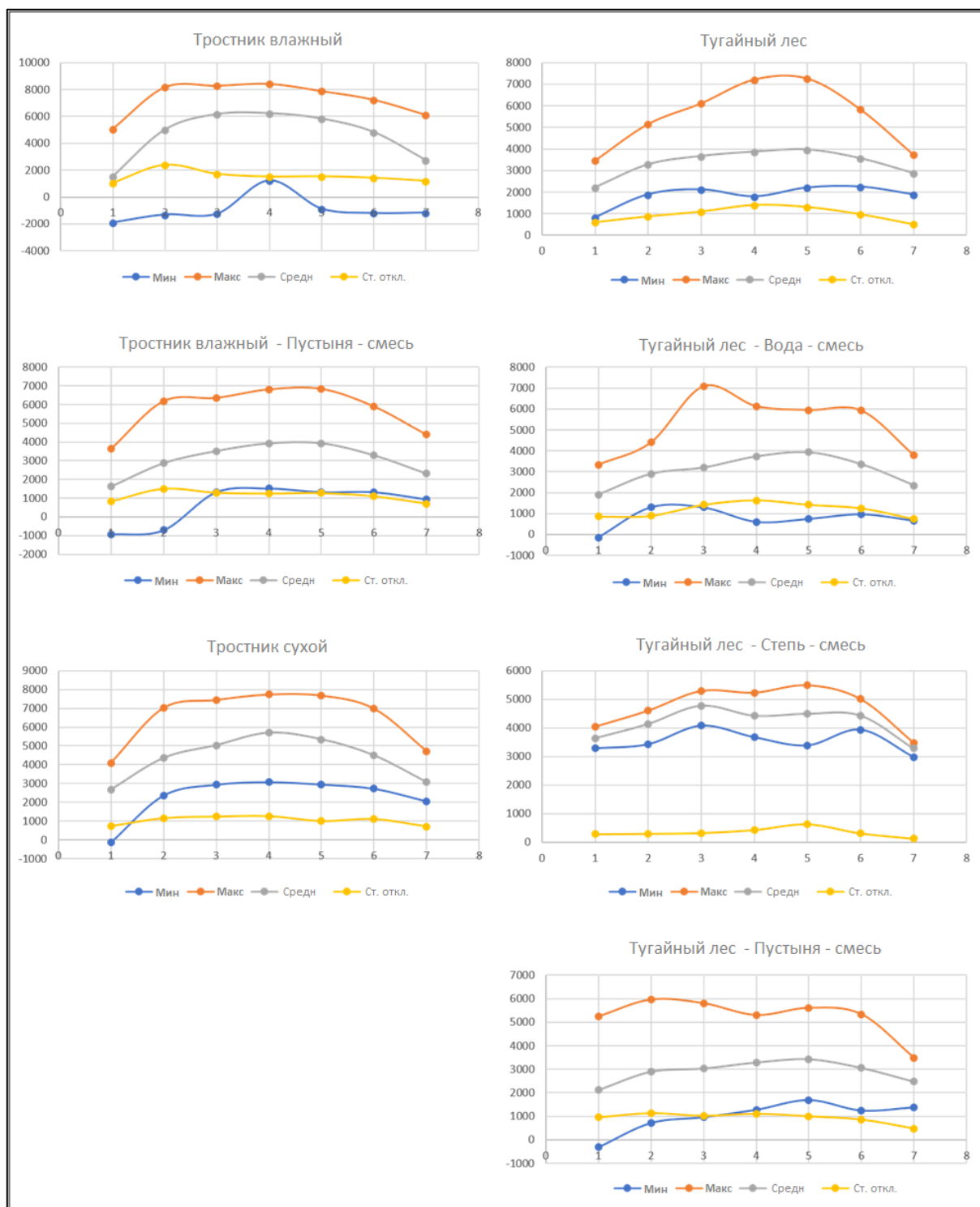
1. Adam, E., Mutanga, O. and Rugege, D., 2010. Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review. *Wetlands Ecology and Management*. Vol. 18, No 3, pp. 281–296.
2. Aizen, V. B., Aizen, E. M. and Kuzmichenok, V. A., 2007. Geo-informational simulation of possible changes in Central Asian water resources. *Global and Planetary Change*, Vol. 56, No 3-4, pp. 341–358.
3. Aralova, D., Toderich, K., Jarihani, B., Gafurov, D. and Gismatulina, L., 2016. Monitoring of vegetation condition using the NDVI/ENSO anomalies in Central Asia and their relationships with ONI (very strong) phases. *Proceedings Volume 10005, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VII*, 1000512.
4. Bai, J., Chen, X., Yang, L. and Fang, H., 2012. Monitoring variations of inland lakes in the arid region of Central Asia. *Frontiers of Earth Science*, Vol. 6, No 2, pp. 147–156.
5. Bekturganov, Z., Tussupova, K., Berndtsson, R., Sharapatova, N., Aryngazin, K. and Zhanasova, M., 2016. Water Related Health Problems in Central Asia—A Review. *Water*, Vol. 8, No 6, 219.
6. BirdLife International, 2019. Important Bird Areas factsheet: Alekseevskie steppe pine forests., viewed 3 January 2019/ Available at: <http://datazone.birdlife.org/site/factsheet/alekseevskie-steppe-pine-forests-iba-kazakhstan>.
7. Davidson, N.C., 2014. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, Vol. 65, No 10, 934.
8. Dwyer, J. and Schmidt, G., 2006. The MODIS Reprojection Tool. In: In: Qu J. J., Gao W., Kafatos M., Murphy R. E., Salomonson V. V. (Eds.), *Earth Science Satellite Remote Sensing*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 162–177.
9. Fluet-Chouinard, E., Lehner, B., Rebelo, L.-M., Papa, F. and Hamilton, S.K., 2015. Development of a global inundation map at high spatial resolution from topographic

- downscaling of coarse-scale remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 158, pp. 348–361.
10. Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X. and Ferreira, L.G., 2002. ‘Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 83, No 1-2, pp. 195–213.
 11. Imentai, A., Thevs, N., Schmidt, S., Nurtazin, S. and Salmurzauli, R., 2015. Vegetation, fauna, and biodiversity of the Ile Delta and southern Lake Balkhash — A review. *Journal of Great Lakes Research*, Vol. 41, No 3, pp. 688–696.
 12. Klein, I., Dietz, A.J., Gessner, U., Galayeva, A., Myrzakhmetov, A. and Kuenzer, C., 2014. Evaluation of seasonal water body extents in Central Asia over the past 27 years derived from medium-resolution remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 26, pp. 335–349.
 13. Klein, I., Gessner, U. and Kuenzer, C., 2012. Regional land cover mapping and change detection in Central Asia using MODIS time-series. *Applied Geography*, Vol. 35, No 1-2, pp. 219–234.
 14. Kuenzer, C., Klein, I., Ullmann, T., Georgiou, E., Baumhauer, R. and Dech, S., 2015., Remote Sensing of River Delta Inundation: Exploiting the Potential of Coarse Spatial Resolution, Temporally-Dense MODIS Time Series. *Remote Sensing*, Vol. 7, No 7, pp. 8516–8542.
 15. Landmann, T., Schramm, M., Colditz, R.R., Dietz, A. and Dech, S., 2010. Wide Area Wetland Mapping in Semi-Arid Africa Using 250-Meter MODIS Metrics and Topographic Variables, *Remote Sensing*, Vol. 2, No 7, pp. 1751–1766.
 16. Leadley, P.W., Krug, C.B., Alkemade, R., Pereira, H.M., Sumaila U.R., Walpole, M., Marques, A., Newbold, T., Teh, L.S.L, van Kolck, J., Bellard, C., Januchowski-Hartley, S.R. and Mumby, P.J., 2014. Progress towards the Aichi Biodiversity Targets: An assessment of biodiversity trends, policy scenarios and key actions, CBD Technical Series 78, Montreal, Canada. Available at: <http://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-78-en.pdf>.
 17. Lioubimtseva, E., Cole, R., Adams, J.M. and Kapustin, G., 2005. Impacts of climate and land-cover changes in arid lands of Central Asia. *Journal of Arid Environments*, Vol. 62, No 2, pp. 285–308.
 18. Lioubimtseva, E. and Henebry, G.M., 2009. Climate and environmental change in arid Central Asia: Impacts, vulnerability, and adaptations. *Journal of Arid Environments*, Vol. 73, No 11, pp. 963–977.
 19. Micklin, P., 2016, The future Aral Sea: hope and despair. *Environmental Earth Sciences*, Vol. 75, No 9, 849.
 20. Ogar, N.P. (Ed.), 2003, Vegetation of river valleys. In: Rachkovskaya, E. I., Volkova, E. A., Khramtsov, V. N., Botanical Geography of Kazakhstan and Middle Asia (Desert Region), Institute of Botany and Phytointroduction of Ministry of Education and Science

- of Republic Kazakhstan. Institute of Botany of Academy of Sciences of Republic Uzbekistan, Tashkent, Almaty, Saint Petersburg.
21. Zholdosheva, E., Rucevska, I., Semernya, L., Dairov, I., Kozhakhmetov, P., Barieva, A., Maskaev, A., Mitrofanenko, T., Alekseeva, N., 2017. Outlook on climate change adaptation in the Central Asian mountains, UN Environment, GRID-Arendal, RMCCA, Nairobi, Vienna, Arendal, Bishkek.
 22. Perennou, C., Guelmami, A., Paganini, M., Philipson, P., Poulin, B. and Strauch, A., et al., 2018. Mapping Mediterranean Wetlands With Remote Sensing: A Good-Looking Map Is Not Always a Good Map, Next Generation Biomonitoring: Part 1, Vol. 58, pp. 243–277, Elsevier.
 23. Petus, C., Lewis, M. and White, D., 2013. Monitoring temporal dynamics of Great Artesian Basin wetland vegetation, Australia, using MODIS NDVI. *Ecological Indicators*, Vol. 34, pp. 41–52.
 24. Ramsar Convention Secretariat, 2016. An Introduction to the Ramsar Convention on Wetlands, 7th ed. (previously The Ramsar Convention Manual), Gland, Switzerland.
 25. Saiko, T. A. and Zonn, I. S., 2000. Irrigation expansion and dynamics of desertification in the Circum-Aral region of Central Asia. *Applied Geography*, Vol. 20. No 4, pp. 349–367.
 26. Hu, S., Niu, Z. and Chen, Y., 2017. Global Wetland Datasets: a Review, *Wetlands*, Vol. 37, pp. 807–817.
 27. Sims, N. C. and Colloff, M. J., 2012. Remote sensing of vegetation responses to flooding of a semi-arid floodplain: Implications for monitoring ecological effects of environmental flows. *Ecological Indicators*, Vol. 18, pp. 387–391.
 28. Thevs, N., Buras, A., Zerbe, S., Kuhnel, E., Abdusalih, N. and Ovezberdiyeva, A., 2012. Structure and wood biomass of near-natural floodplain forests along the Central Asian rivers Tarim and Amu Darya. *Forestry*, 85, Vol. 2, pp. 193–202.
 29. Thevs, N., Zerbe, S., Gahlert, F., Mijit, M. and Succow M., 2007. Productivity of reed (*Phragmites australis* Trin. ex Steud.) in continental-arid NW China in relation to soil, groundwater, and land-use. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, Vol. 81, pp. 62–68.
 30. Törnqvist, R., Jarsjö, J. and Karimov, B., 2011. Health risks from large-scale water pollution: trends in Central Asia. *Environment international*, Vol. 37, No 2, pp. 435–442.
 31. Wang, X., Chen, H. and Chen, Y., 2018. Topography-Related Glacier Area Changes in Central Tianshan from 1989 to 2015 Derived from Landsat Images and ASTER GDEM Data. *Water*, Vol. 10, No 5, 555.
 32. White, D.C. and Lewis, M. M., 2011. A new approach to monitoring spatial distribution and dynamics of wetlands and associated flows of Australian Great Artesian Basin springs using QuickBird satellite imagery. *Journal of Hydrology*, Vol. 408, No 1-2, pp. 140–152.
 33. Xie, Y., Sha, Z. and Yu, M., 2008. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review, *Journal of Plant Ecology*, Vol. 1, No 1, pp. 9–23.

-
34. Yapiyev, V., Sagintayev, Z., Inglezakis, V., Samarkhanov, K. and Verhoef, A., 2017. Essentials of Endorheic Basins and Lakes: A Review in the Context of Current and Future Water Resource Management and Mitigation Activities in Central Asia. *Water*. Vol. 9, No 10, 798.
 35. Yapiyev, V., Samarkhanov, K., Tulegenova, N., Jumassultanova, S., Verhoef, A. and Saidaliyeva, Z., et al., 2019. Estimation of water storage changes in small endorheic lakes in Northern Kazakhstan. *Journal of Arid Environments*, Vol. 160, pp. 42–55.
 36. Yu, Y., Pi, Y., Yu, X., Ta, Zh., Sun, L., Disse, M., Zeng, F., Li, Y., Chen, X., Yu, R., 2019. Climate change, water resources and sustainable development in the arid and semi-arid lands of Central Asia in the past 30 years. *Journal of Arid Land*, Vol. 11, No 1, pp. 1–14.
 37. Zhao, B., Yan, Y., Guo, H., He, M., Gu, Y. and Li, B., 2009. Monitoring rapid vegetation succession in estuarine wetland using time series MODIS-based indicators: An application in the Yangtze River Delta area. *Ecological Indicators*, Vol. 9, No 2, pp. 346–356.
 38. Zhou, H., Aizen, E. and Aizen, V., 2013. Deriving long term snow cover extent dataset from AVHRR and MODIS data: Central Asia case study. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 136, pp. 146–162.

8. Приложения



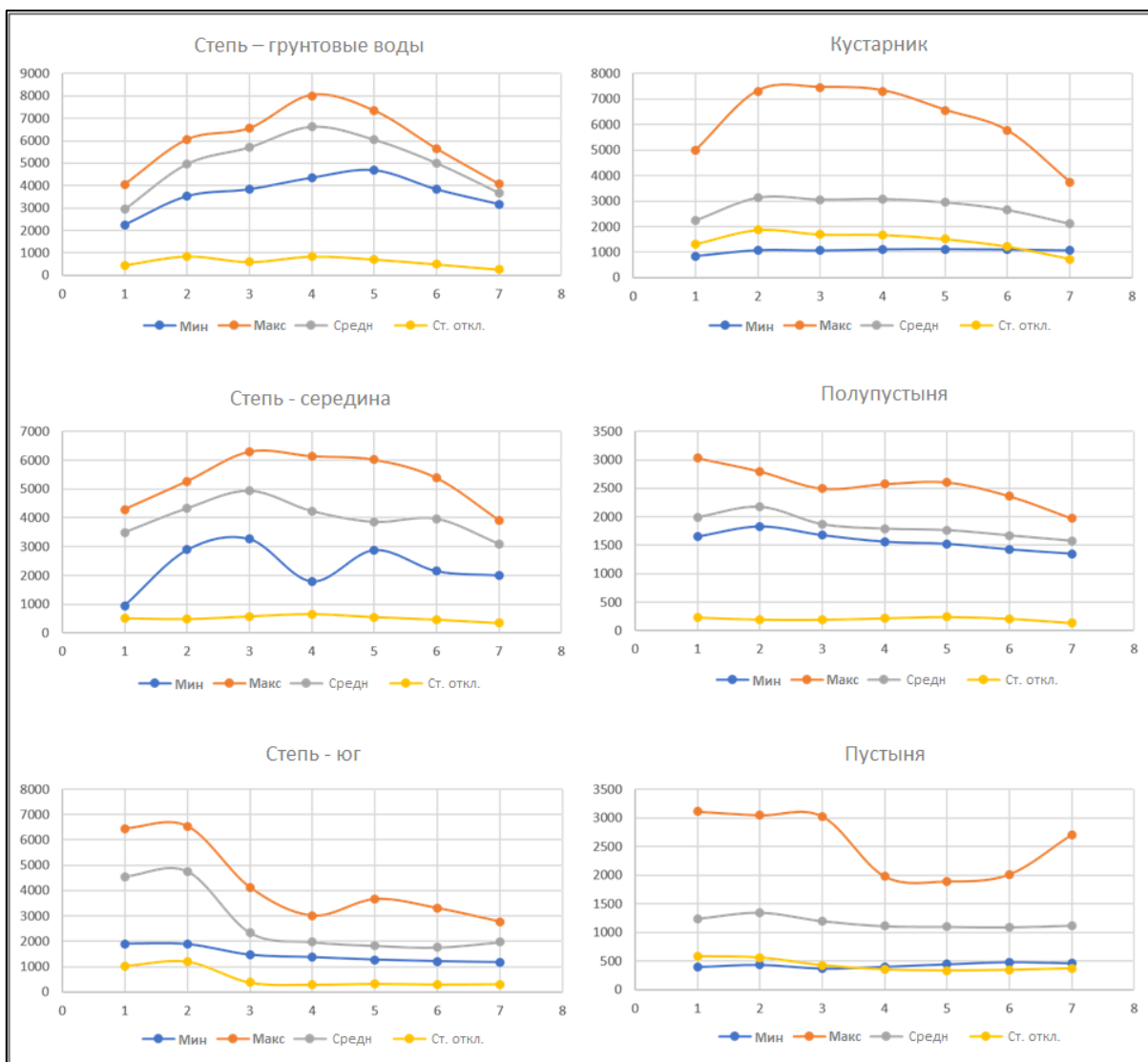


Рисунок 12. Значения НОИР для тренировочных пикселей по разным типам растительности за месяцы с апреля по октябрь.

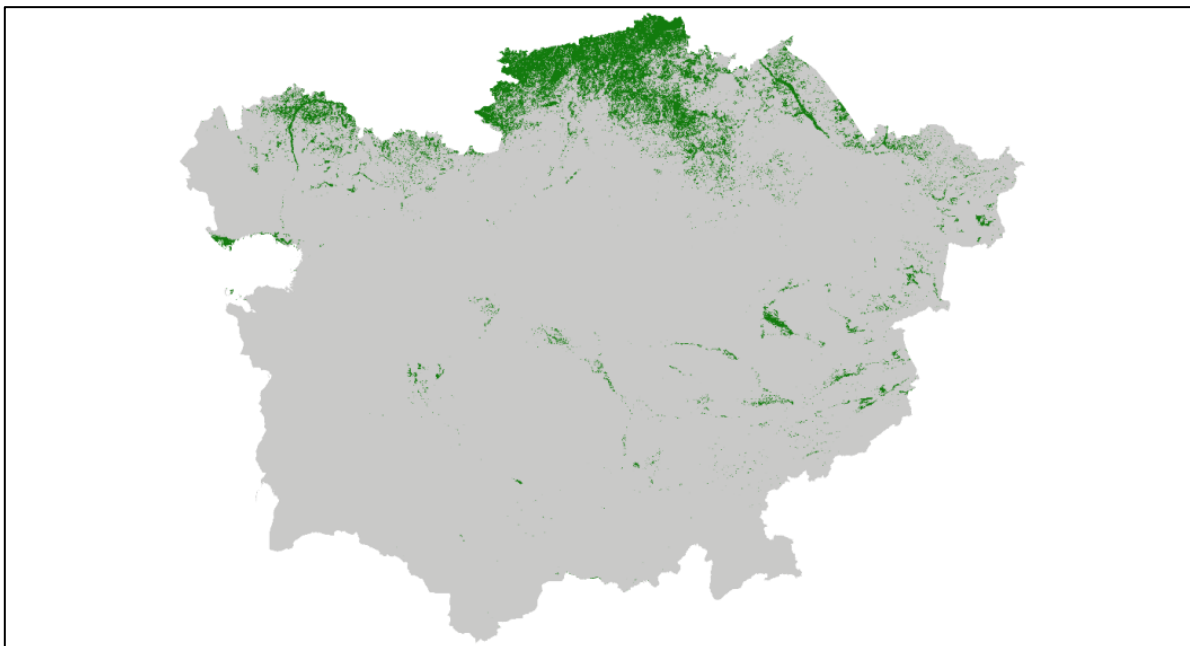


Рисунок 13. Результаты картирования распределения водно-болотных угодий в Центральной Азии в 2000 г. (зеленый = водно-болотные угодья, серый = отсутствие водно-болотных угодий).

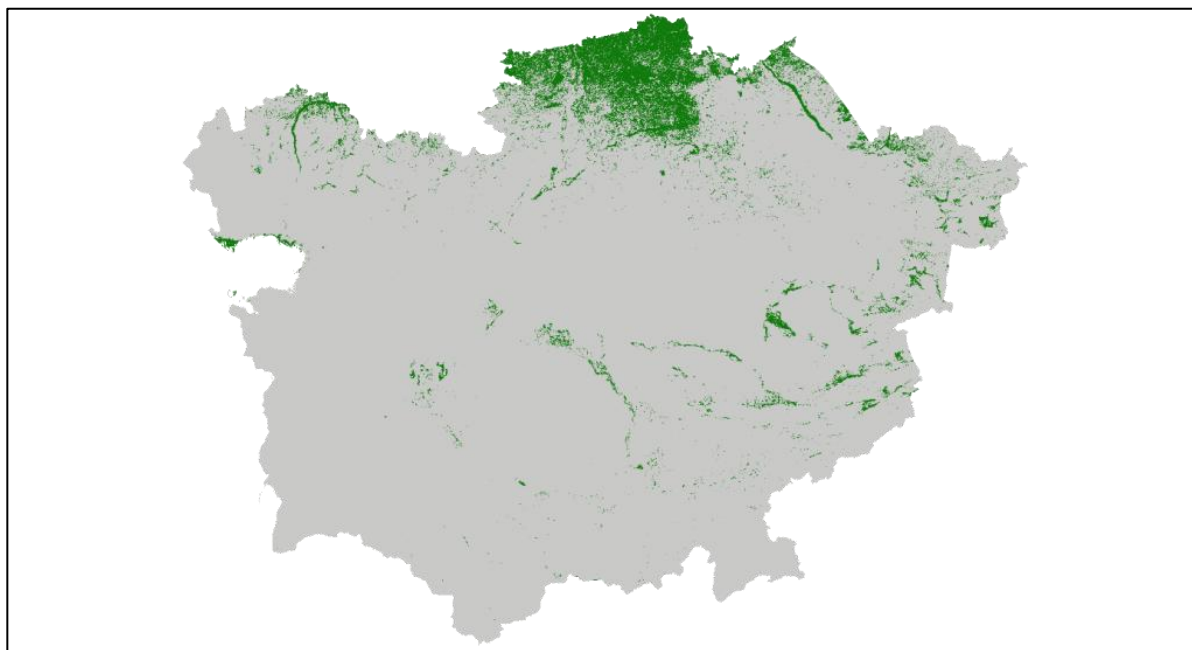


Рисунок 14. Результаты картирования распределения водно-болотных угодий в Центральной Азии в 2005 г. (зеленый = водно-болотные угодья, серый = отсутствие водно-болотных угодий).

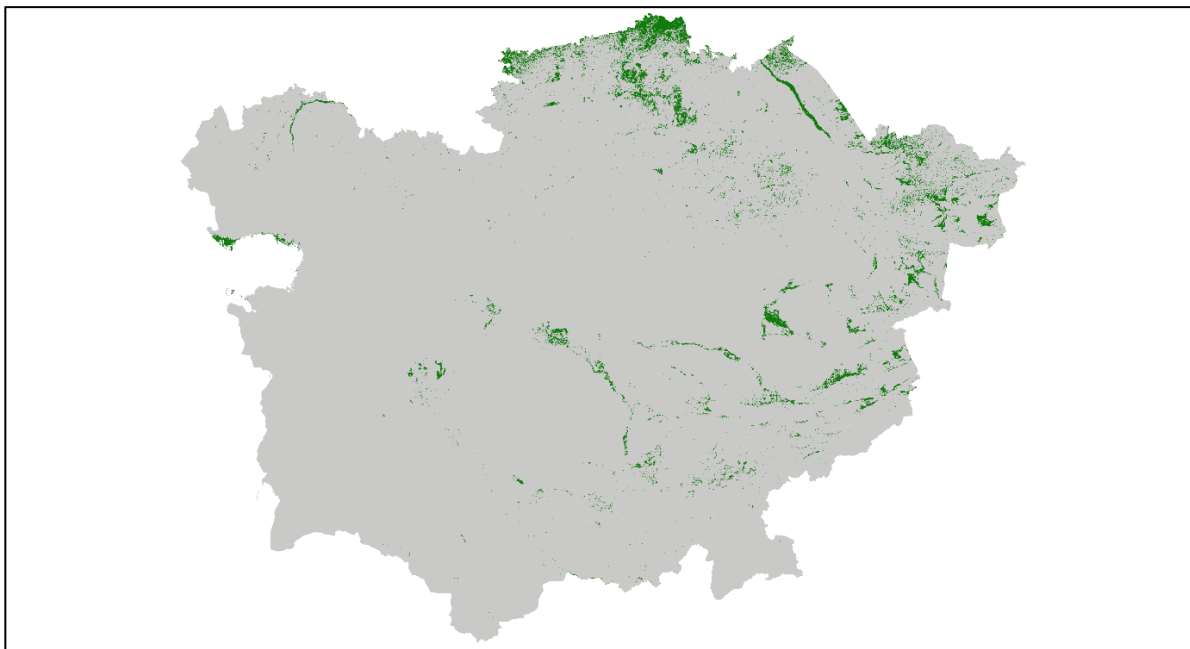


Рисунок 15. Результаты картирования распределения водно-болотных угодий в Центральной Азии в 2010 г. (зеленый = водно-болотные угодья, серый = отсутствие водно-болотных угодий).

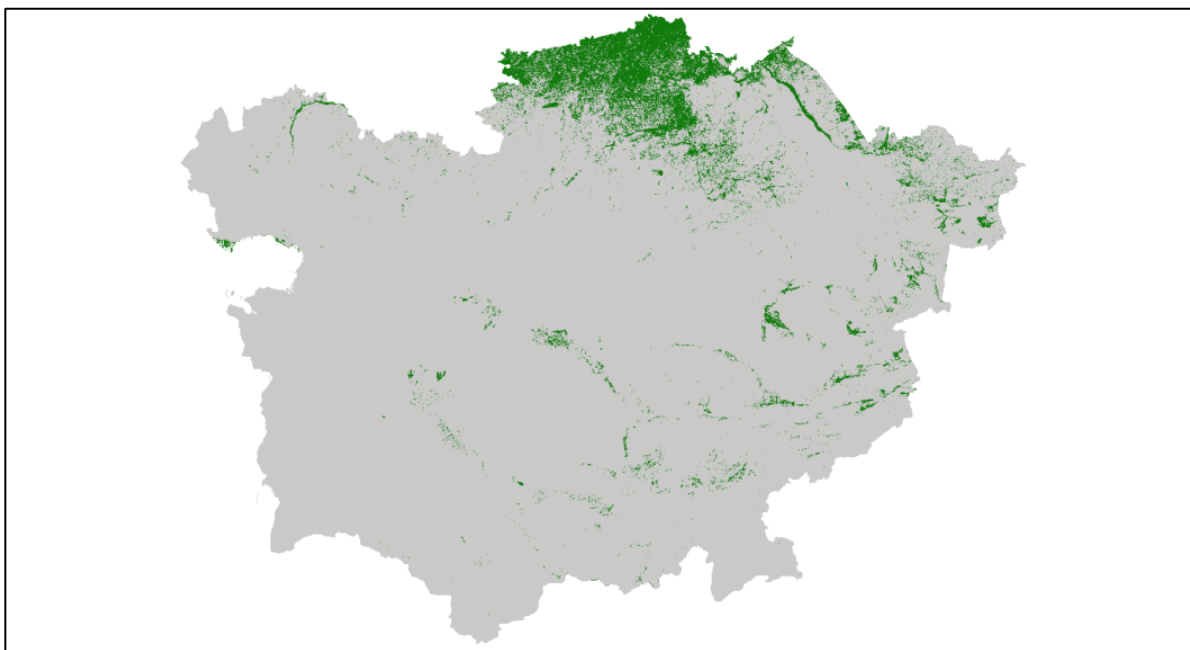


Рисунок 16. Результаты картирования распределения водно-болотных угодий в Центральной Азии в 2015 г. (зеленый = водно-болотные угодья, серый = отсутствие водно-болотных угодий).