

СТРУКТУРА, ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ
И ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ

УДК 911.5(282.254.21)

DOI: [10.21072/eco.2023.27.04](https://doi.org/10.21072/eco.2023.27.04)

ДИНАМИКА ТИПОВ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА В БАССЕЙНЕ
РЕКИ ЭЛЬ-АСИ (ОРОНТ) В 2017–2022 гг. *

Табунщик В. А.¹, Никифорова А. А.¹, Линева Н. П.^{1,2}, Мирзоева Н. Ю.¹,
Черный Г. С.^{1,3}, Керимов И. А.⁴, Махмудова Л. Ш.⁴, Гагаева З. Ш.⁴, Андрончик Я. О.¹

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,
г. Севастополь, Российская Федерация,

²ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»,
г. Симферополь, Российская Федерация,

³АНО «Научно-исследовательский центр Мирового океана, климата и экологии»,
г. Сочи, Российская Федерация,

⁴ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет
имени академика М. Д. Миллионщикова», г. Грозный, Российская Федерация,
e-mail: tabunshchik@ya.ru

Аннотация: Исследована динамика наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) за 2017–2022 гг. Были проанализированы теоретические представления о типах наземного покрова и использовании дистанционных методов для её изучения. Приведено описание района исследования, характеристика данных о типах наземного покрова, используемых в работе, описана методика исследования. По результатам исследования проанализирована динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017–2022 гг., обозначены перспективы будущих исследований в данном регионе.

Ключевые слова: наземный покров, река Эль-Аси, река Оронт, мониторинг, бассейн реки, геоинформационные системы, ГИС, дистанционное зондирование Земли.

Введение

Динамика наземного покрова Земли (landcover) становится наиболее заметным проявлением изменений окружающей среды как в пространственном, так и во временном масштабе [Arifeen et al., 2021; Wubie, Assen, Nicolau, 2016]. Не вызывает сомнений, что деятельность человека значительно повлияла на природную среду [Goldewijk, 2001], — около трёх четвертей поверхности Земли было изменено людьми в течение последнего тысячелетия [Winkler et al., 2021]. Изменение наземного покрова является одним из наиболее часто встречающихся последствий деятельности человека [Bora, Walia, Mipun, 2023; Joseph, Rahul, Sukanya, 2021]. В исследованиях [Rockström et al., 2009] отмечено, что данный процесс является одним из девяти показателей планетарных границ (подразумевает приближение общества к глобальным негативным изменениям окружающей среды, которые ставят под угрозу функционирование человечества). Мониторинг изменений наземного покрова Земли — один из наиболее важных компонентов разработки стратегий управления природными ресурсами и анализа изменений окружающей среды [Joseph, Rahul, Sukanya, 2021; Rawat, Biswas, Kumar, 2013; Ahmad, Goparaju, Qayum, 2017; Näschen et al., 2019].

*Исследование выполнено в рамках НИР № 121040100327-3 и № 121031500515-8.

Речные бассейны играют первоочередную роль в жизни человека. Говоря об изменении наземного покрова, следует иметь в виду, что учёт влияния речных бассейнов и их трансграничной и транзитной роли является одним из наиболее важных аспектов изучения землепользования с точки зрения устойчивого использования ресурсов [Bora, Walia, Mipun, 2023]. Понимание прошлых, настоящих и будущих изменений наземного покрова необходимо и даёт представление о надлежащем использовании водосборных бассейнов [Ndulue et al., 2015].

Факторами, определяющими изменения наземного покрова в речном бассейне, являются: высота над уровнем моря, уклон, удалённость от реки, эрозия почвы, удалённость от основных дорог, населённых пунктов и т. д. [Lin et al., 2009]. Изменение наземного покрова вызвано прежде всего деятельностью человека — развитием процессов урбанизации, индустриализации, ведением сельского хозяйства и т. д. Это, в свою очередь, может показывать доступность водных ресурсов для использования, значительно изменять объёмы и режимы водного стока [Nagraj, Nataraja, 2020].

Имеется большое количество исследований по изучению изменений наземного покрова с помощью методов дистанционного зондирования и геоинформатики [Bora, Walia, Mipun, 2023; Goldewijk, 2001; Rockström et al., 2009; Winkler et al., 2021; Hussien et al., 2023; Joseph, Rahul, Sukanya, 2021; Ribeiro et al., 2023; Konukcu, Albut, Altürk, 2017]. К примеру, в своей работе [Hussien et al., 2023] авторы, используя гибридный подход спектрального распознавания изображений, определили восемь категорий пространственно-временной динамики растительности в бассейне реки Аббай с 1994 по 2056 г. В исследовании [Joseph, Rahul, Sukanya, 2021], которое проводилось 64 года (1967–2021 гг.), с помощью дистанционного зондирования и ГИС-подхода проанализировали пространственную картину обнаружения изменений наземного покрова в бассейне реки Киллиар. В период 2001–2021 гг. был проанализирован наземный покров бассейна и суббассейнов реки Амазонки [Ribeiro et al., 2023]. Используя земельные данные CORINE и программное обеспечение ArcGIS, исследователи [Konukcu, Albut, Altürk, 2017] создали модель изменений землепользования и наземного покрова в бассейне реки Эргене на западе Турции в период с 1990 по 2012 г. Исследование динамики типов наземного покрова в комплексе с дешифрированием космических снимков может применяться при анализе антропогенной преобразованности различных операционно-территориальных единиц исследования, в том числе речных бассейнов [Tabunshchik, Gorbunov, Gorbunova, 2022; Tabunshchik et al., 2023].

Стоит отметить, что в отечественных исследованиях инструменты ГИС для исследования наземного покрова применяются ещё слабо [Ливанов, Солодовников, 2016; Потатуркин и др., 2013]. Например, Елсаков В. В. с соавторами исследовали особенности наземного покрова в бассейне реки Кожим (Приполярный Урал) [Елсаков, Марущак, Щанов, 2009]. Изучив наземный и почвенный покров на техногенно нарушенных участках Средней Сибири, Краснощеков К. В. с соавторами оценили масштабы нарушенных экосистем и провели мониторинг их состояния для четырёх речных бассейнов [Краснощеков, Дергунов, Пономарева, 2022]. Царев Ю. В. с соавторами изучили статистику изменения растительного покрова бассейна реки Волги [Царев, Бойко, Панкова, 2023]. Табунщик В. А. и Горбунов Р. В. изучили динамику типов наземного покрова в пределах бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор [Табунщик, Горбунов, 2021].

Усугубляемый социально-экономическим развитием и изменением климата, дефицит воды стал глобальным риском, ставящим под угрозу достижение устойчивости ландшафтов и Целей устойчивого развития (ЦУР) Организации Объединённых Наций (ООН) [Dai, Liu, 2023]. Для оценки, поддержания, оптимального использования и сохранения имеющихся возобновляемых водных ресурсов при возросшем спросе на воду в сельском хозяйстве в странах с дефицитом воды учёные проводят различные комплексные исследования [Ливанов, Солодовников, 2016].

Страны Ближнего Востока считаются странами, которые в наибольшей степени испытывают дефицит воды [Zaki, Klöve, Haghghi, 2022]. С учётом того что население, проживающее в бассейне реки Эль-Аси (Оронт), составляет почти 5.7 млн человек, имеющиеся там водные ресурсы не способны удовлетворить потребности человеческой деятельности на территориях этих стран в течение определённого периода времени [Comprehensive assessment ... , 1997]. Экономические, социальные, демографические, культурные, экологические, политические характеристики и особенности развития в странах Ближнего Востока накладывают свой отпечаток на водные проблемы этих стран [Munther, 2002]. В регионе существуют трансграничные реки, одной из них является река Эль-Аси (Оронт).

Река Эль-Аси (Оронт), которая берёт начало в Ливане, протекает по территории Сирии и Турции и впадает в Средиземное море, является одним из важных источников воды на Ближнем Востоке [Orontes River Basin, 2013; Atlas of the Orontes ... , 2022; Shaban, 2021]. Так, в Ливане река рассматривается как трансграничный водный ресурс [Orontes River Basin, 2013; Atlas of the Orontes ... , 2022; Shaban, 2021]. В ходе полевых работ изучена история развития ландшафтов долины верхней части Эль-Аси (Оронт) близ Хомса, на западе Сирии [Orontes River Basin, 2013; Atlas of the Orontes ... , 2022; Shaban, 2021]. В Турции проводятся многочисленные исследования загрязнения устья реки Эль-Аси (Оронт), так как протекающий через три страны водный объект подвержен сильному антропогенному влиянию [Turan, Eken, Ergerler, 2020; Yılmaz, Doğan, 2008]. Кроме того, после 2011 г. в турецкой части реки Эль-Аси (Оронт) наблюдается снижение качества воды, связанное с военным конфликтом в Сирии. В 2011 г. в Сирии начался внутренний вооружённый конфликт, который продолжался до 2016 г. В результате вооружённого конфликта, по данным ООН, погибли более 220 тыс. человек [Гражданская война в Сирии ... , 2016; Mhanna et al., 2023].

Цель исследования — изучение динамики наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) за 2017–2022 гг.

В первом разделе исследования, во введении, проанализированы важность исследований наземного покрова и применение дистанционных методов для изучения наземного покрова с использованием географических информационных систем и данных дистанционного зондирования. Во втором разделе приводится описание района исследования, характеристика данных о типах наземного покрова, используемых в работе, описана методика исследования. В третьем разделе представлены результаты динамики типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) и их обсуждение. В четвёртом разделе, в заключении, приводятся полученные в работе результаты и обсуждаются перспективы будущих исследований в бассейне реки Эль-Аси (Оронт).

Материалы и методы

Район исследования охватывает бассейн реки Эль-Аси, также известной как Оронт. В литературе применяются оба названия реки, при этом в Сирии чаще используется Эль-Аси, в других странах — Оронт [Эль-Аси (Оронт), 1986; Рожанский, 1988; Atlas of the Orontes ... , 2022]. Река расположена в Западной Азии, к северу от Аравийского полуострова, на восточной оконечности Средиземного моря (рисунок 1).

В литературе нет устоявшихся данных о площади водосборного бассейна реки Эль-Аси (Оронт). Разными исследователями площадь водосборного бассейна Эль-Аси (Оронт) и его приуроченность к различным странам (в процентах) рассчитывается по-разному, указываются следующие значения: 21 660 км² [Kloosterman, Vermooten, 2008], 24 660 км² [Irrigation in the Middle ... , 2009], 26 530 км² [Orontes River Basin, 2013]; при этом 2016 км² приходится на Ливан (8 %) [Orontes River Basin, 2013; Irrigation in the Middle ... , 2009; Kloosterman, Vermooten, 2008], от 67 (17 881 км²) [Orontes River Basin, 2013] до 70 % — на Сирию [Irrigation in the Middle ... , 2009; Kloosterman, Vermooten, 2008], от 23 [Irrigation in the Middle ... , 2009; Kloosterman, Vermooten, 2008] до 25 % (6633 км²) — на Турцию [Orontes River Basin, 2013].

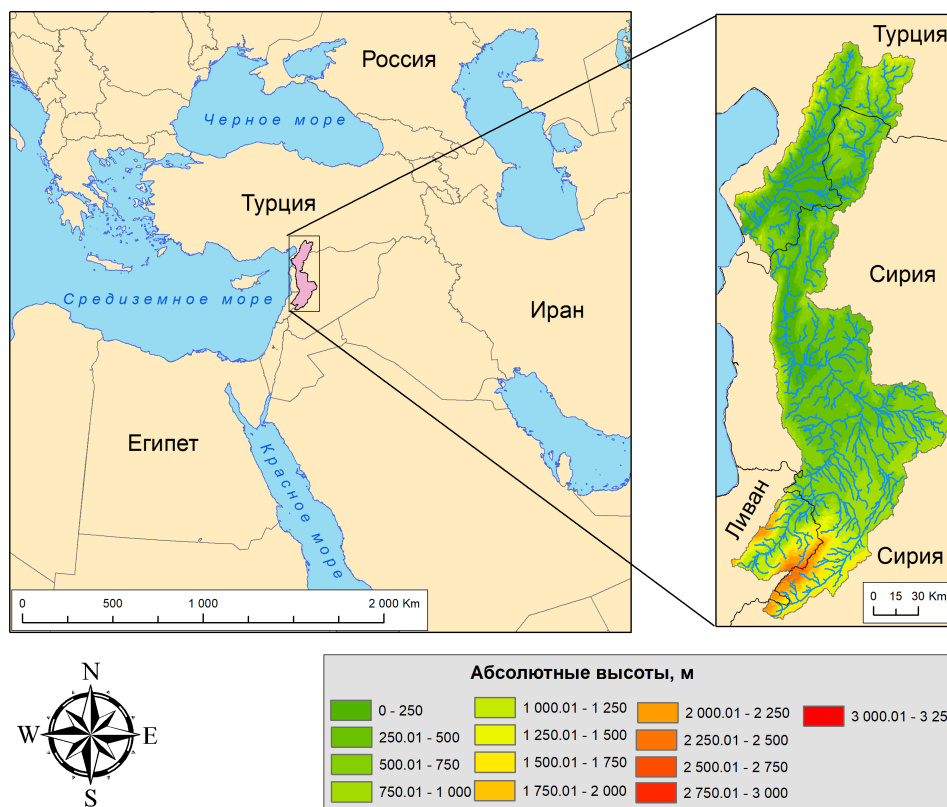


Рис. 1. Географическое положение и абсолютные высоты в бассейне реки Эль-Аси (Оронт)

Река берёт начало в горах Антиливана, примерно в 30 км к востоку от Бейрута [Эль-Аси (Оронт), 1986], истоком являются карстовые источники, расположенные на высоте 690 м [Orontes River Basin, 2013]. Согласно [Эль-Аси (Оронт), 1986] длина реки Эль-Аси (Оронт) составляет 571 км, средний расход воды около 80 м³/с, направление течения северное, параллельно побережью Средиземного моря. Река течёт сначала по скалистому ущелью, затем разливается в озеро Хомс (рисунок 2), которое было запружено ещё в античные времена. Далее долина реки (рисунок 3) расширяется у города Хама, после чего русло поворачивает на запад, в Антиохийскую равнину (Амук). Здесь в Эль-Аси (Оронт) впадают два крупных притока — реки Африн и Карасу, которые протекают по территории Турции и Сирии. Река Африн (протяжённостью 131 км) берёт свое начало в Турции, протекает по территории Сирии и впадает в Эль-Аси (Оронт) в районе г. Хатай. Река Карасу (протяжённостью 120 км) является вторым главным притоком Эль-Аси (Оронт), [Orontes River Basin, 2013], питается горными источниками, талыми снегами и обладает значительными запасами воды.

Река Эль-Аси (Оронт) впадает в залив Антакья Средиземного моря, к югу от турецкого портового города Самандаг [Эль-Аси (Оронт), 1986]. В Сирии небольшие ручьи и родники, берущие начало в горах на западе и востоке страны, вносят свой вклад в сток Эль-Аси (Оронт) [Orontes River Basin, 2013]. Питание реки: грунтовые воды (доля в стоке реки составляет до 90 % [Orontes River Basin, 2013]), снеговое, дождевое [Traboulsi, 2004].

Водами Эль-Аси (Оронт) орошаются плодородные равнины Хомс, Хама, Эль-Габ. Местами река образует озёра и болота, наиболее крупное озеро — Хомс, болота — Ашарна и Габ. Судостроительство практически отсутствует. Река Эль-Аси (Оронт) является единственным постоянным водотоком в Западной Азии [Реки Ближнего Востока, 2015].



Рис. 2. Озеро Хомс и окрестности



Рис. 3. Русло реки Эль-Аси (Оронт) в районе города Хомс

Продольный профиль Эль-Аси (Оронт) демонстрирует сложную геологическую историю и характеризуется протяжёнными отрезками, включающими аллювиальные поймы или возвышенности, выточенные рекой и соединённые резкими перепадами уклонов с включёнными скальными порогами. Русло Эль-Аси (Оронт) сформировалось под влиянием тектонических процессов и соответствует дну заболоченного грабена с осью север — юг, который является частью рифтовой системы Красного моря, простирающейся от Акабского залива (залив на севере Красного моря, отделяющий Синайский полуостров от Аравийского) до Амануса (горный хребет на юге Турции) [Atlas of the Orontes ... , 2022], далее река впадает в Средиземное море ниже города Антакья (рисунок 1).

Территория исследования расположена на северо-восточной части древней, докембрийской, Африкано-Аравийской платформы, в области распространения фанерозойского платформенного чехла мощностью несколько километров, сложенного мелководно-морскими терригенными и карбонатными отложениями (песчаники, глины, известняки, мергели, мел и др.). Область исследования находится в субтропическом климатическом поясе, в зоне средиземноморского типа с зимне-весенним максимумом осадков и летней засухой [Atlas of the Orontes ... , 2022]. В бассейне реки Эль-Аси (Оронт) на территории Ливана количество осадков уменьшается по мере продвижения с юга на север (с 400 до менее чем 200 мм), а затем увеличивается в сирийской и турецкой частях бассейна (до 500–700 мм) [Atlas of the Orontes ... , 2022]. Среднегодовое количество осадков в бассейне реки оценивается в 644 мм [Irrigation in the Middle ... , 2009]. Среднегодовой температурный режим — средиземноморский. Самый низкий среднемесячный показатель приходится на январь (около 6–8 °С). Самый высокий среднемесячный показатель приходится на август (24–29 °С) [Traboulsi, 2004].

Бассейн реки расположен в пределах зоны средиземноморских жёстколистных вечнозелёных лесов и кустарников, а также в зоне высотной поясности (высота бассейна — от 0 до 2694 м [Mhanna et al., 2023]). Основные представители флоры: можжевельник обыкновенный, боярышник обыкновенный, боярышник азароле, турецкий дуб, дуб Бранта, дуб кермесский, каперс обыкновенный, барбарис обыкновенный, а также культурные и дикорастущие плодовые деревья, а именно: миндаль, абрикос, вишня, сливы, персики, нектарины, дикая и культурная груша, маслины, инжир [Jomaa, Massaad].

Исследуемая территория включает в себя типы основных почв, характерных для данного района: почвы коричневых ксерофитных субтропических лесов и кустарников, а также горные серо-коричневые [Карта почв].

Сегодня река Эль-Аси (Оронт) используется для орошения 6 % территории в Ливане, 36 % в Турции и 58 % в Сирии, что составляет ориентировочно 350 000 гектаров земли. В долине Бекаа в Ливане орошение обеспечивает питание полевых и плодовых культур. Мохафазат Идлеб и долина Аль-Габ в Сирии получают наибольшую ирригацию. В Турции используются плотины Ярсели и Карамнали.

В бассейне реки расположены важные исторические достопримечательности, объекты всемирного наследия ЮНЕСКО [Оронт (река)]: руины античных городов Ларисса (Шайзар, XIV в. до н. э.) и Апамея (300 г. до н. э.), римские храмы долины Бекаа (в том числе Баальбек, II в.), древнеримская дамба (озеро Хомс, 284 г.); город Хама (Сирия) — дворцовый комплекс Каср ибн Вардан (середина VI в.), Великая мечеть (VIII в., восстановлена), мечеть Нури (1172 г.), мавзолей историка и географа Мухаммеда Абби-ль-Фида (XIV в.), нории (водяные колеса, XIV–XV вв.), мамлюкская мечеть Эль-Иззи (XV в.), дворец Азема (Каср Азем); город Хомс (Сирия) — крепость Крак де Шевалье (Крак де л'Оспиталь, XI в.), церковь Умм Аз-Зуннар (59 г.), церковь Элиана Хомского (432 г.), мечеть Нур-ад-дина (XII в.), мечеть Ан-Нури Аль-Кабир (1129 г.); город Антакья (Турция) — руины римской Антиохии (I в.), пещерный храм Св. Петра (около 1100 г.), Археологический музей (1934 г.); город Самандаг — тоннель Тита Веспасиана (I в.), монастырь Св. Симеона Столпника Младшего (VI в.).

В настоящее время использование реки Эль-Аси (Оронт) в Ливане ограничивается мелко-масштабным сельским хозяйством, рыбоводческими хозяйствами и туризмом. В бассейне реки на территории Сирии интенсивно эксплуатируются как подземные, так и поверхностные воды для орошения. В Турции в последние годы запланировано и реализовано несколько десятков новых проектов по развитию водных ресурсов в турецкой части бассейна Эль-Аси (Оронт). Эти проекты направлены на регулирование стока реки и её притоков для ирригации и защиты от наводнений. Они также направлены на обеспечение водой бытовых нужд и для выработки электроэнергии [Orontes River Basin, 2013].

Изменение наземного покрова, являющееся преимущественно предметом изучения естественных наук, представляет собой физическое состояние земной поверхности. Исходя из определения, данного Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (FAO — Food and Agriculture Organization of the United Nations), наземный покров (landcover) — это наблюдаемый биофизический покров на земной поверхности, состоящий из растительности и антропогенных объектов [[Land cover classification ... , 2000](#)].

В настоящее время данные о поверхности Земли получают методами дистанционного зондирования, которые являются более эффективными по сравнению с полевыми съёмками местности. Запуск в июле 1972 г. спутника Earth Resource Technology Satellite (ERTS) 1, позже названного Landsat 1, внёс значительный вклад в развитие такой прикладной области дистанционного зондирования, как классификация растительного покрова [[Phiri, Morgenroth, 2017](#)]. Дистанционное зондирование позволяет непрерывно и согласованно отслеживать и картографировать наземный покров в различных пространственных и временных масштабах. При этом полученные изображения могут использоваться в качестве промежуточного результата, по которому можно сделать определённые выводы о состоянии территории [[Congalton et al., 2014](#)].

С последующим развитием технологий дистанционного зондирования появились национальные и международные инициативы по реализации глобальных проектов картирования наземного покрова, например: Copernicus Global Land Cover, Glob Cover Land Cover Maps, Globe Land30, Land Cover Climate Change Initiative (CCI) и ESRI Land Cover.

С 2017 г. проводятся исследования по разработке временного ряда картографических материалов ESRI Land Cover на основе спутниковых снимков Sentinel-2 Европейского космического агентства (ESA). Спутник Sentinel-2 оснащён рядом технологий, в том числе радиолокационными и многоспектральными приборами для получения изображений суши, океана и атмосферы, что позволяет ему отслеживать растительность, почву и водные объекты, внутренние водные пути и прибрежные районы. Эта модель классификации наземного покрова использует искусственный интеллект, усовершенствованный за счёт объединения огромного обучающего набора данных, точность итогового продукта составляет около 85 %. Проект выполнялся в сотрудничестве ESRI (Environmental Systems Research Institute) с технологической компанией Impact Observatory и корпорацией Microsoft. Выделяются 9 типов наземного покрова: водные объекты, древесный покров, водно-болотные угодья, посевы (сельскохозяйственные угодья), территории, не покрытые растительностью, застроенные территории, луга, а также территории с постоянной облачностью и территории со снежным покровом. Данные можно получить на официальном сайте ESRI [[Sentinel-2 10-Meter ...](#)], а затем продолжить анализ с использованием геоинформационных систем, где после классификации раstra и построения таблицы атрибутов получить данные о площади каждого из типов наземного покрова на определённой территории.

Кроме того, на основе этих наблюдений было проведено прогнозирование изменений и построена модель уязвимости наземного покрова в глобальном масштабе к 2050 г. [[ESRI Land Cover 2050](#)].

Этот набор данных вполне успешно применяется для решения различного рода задач, так как состояние наземного покрова и его динамика учитываются в контексте следующих исследований: физической климатической системы в глобальном масштабе, региональных и континентальных энергетических и водных балансов, глобальной биогеохимии, химии атмосферы, биоразнообразия, а также процессов, связанных с изменением качества земель, плодородия почв и биоразнообразия, вопросов устойчивого развития, устойчивого сельского хозяйства и освоения ресурсов, землевладения и землепользования [[Changes in land use ... , 1994](#)].

Результаты и обсуждение

В результате исследования получены карты изменения типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017–2022 гг. (рисунки 4, 5).

На рисунке 4 и в таблице 1 представлено изменение площади основных типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017–2022 гг.

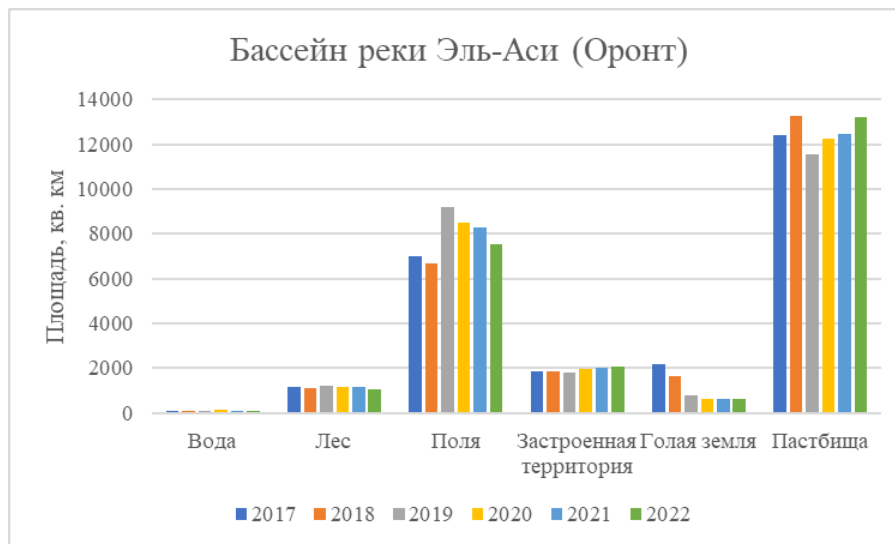


Рис. 4. Динамика площадей, занятых основными типами наземного покрова, в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017–2022 гг.

Площадь наземного покрова водного типа в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) увеличилась с 2017 по 2020 г. почти в 2 раза, после чего произошло её уменьшение на 11 %. Площадь затопленных территорий существенно менялась: увеличилась в 13 раз, с 1.08 (2018) до 14.13 км² (2019). Площадь наземного покрова лесного типа с 2017 по 2022 г. изменялась в пределах 1076.1–1225.2 км² без резких скачков.

Максимальное количество территорий в бассейне реки Эль-Аси (Оронт), занятых полями, приходилось на 2019 г., минимальное — зафиксировано в 2018 г. С 2020 г. наблюдается неизменный рост населённых пунктов и застроенных территорий.

Также существует возможность оценить последствия военных действий в Сирии через тип наземного покрова «голая земля», который предполагает в том числе участки с разрушенными объектами. Исходя из имеющихся данных, показатель уменьшался большими темпами с 2017 по 2020 г., а с 2020 г. демонстрирует более медленное снижение. Важным критерием землепользования является наличие пастбищ. Их количество колеблется от 11 529.6 до 13 286.0 км².

Если рассматривать изменение типов наземного покрова с 2017 по 2022 г. в странах, к которым относится территория бассейна реки Эль-Аси (Оронт), то наблюдается значительная пространственная дифференциация (рисунки 6, 7, 8). В Турции, в пределах исследуемой территории, преобладают пашни и поля, наблюдается рост количества застраиваемых территорий и практически отсутствуют голые земли. В Ливане преобладают пастбища и практически отсутствует лесной тип наземного покрова. В Сирии преобладают два типа наземного покрова — пастбища и поля, наблюдается значительное сокращение типа наземного покрова «голые земли».

В исследовании не анализировались типы наземного покрова «снег/лёд» и «заболоченные земли и растительность» в силу незначительных площадей, приходящихся на эти типы наземного покрова в пределах территории бассейна реки Эль-Аси (Оронт).

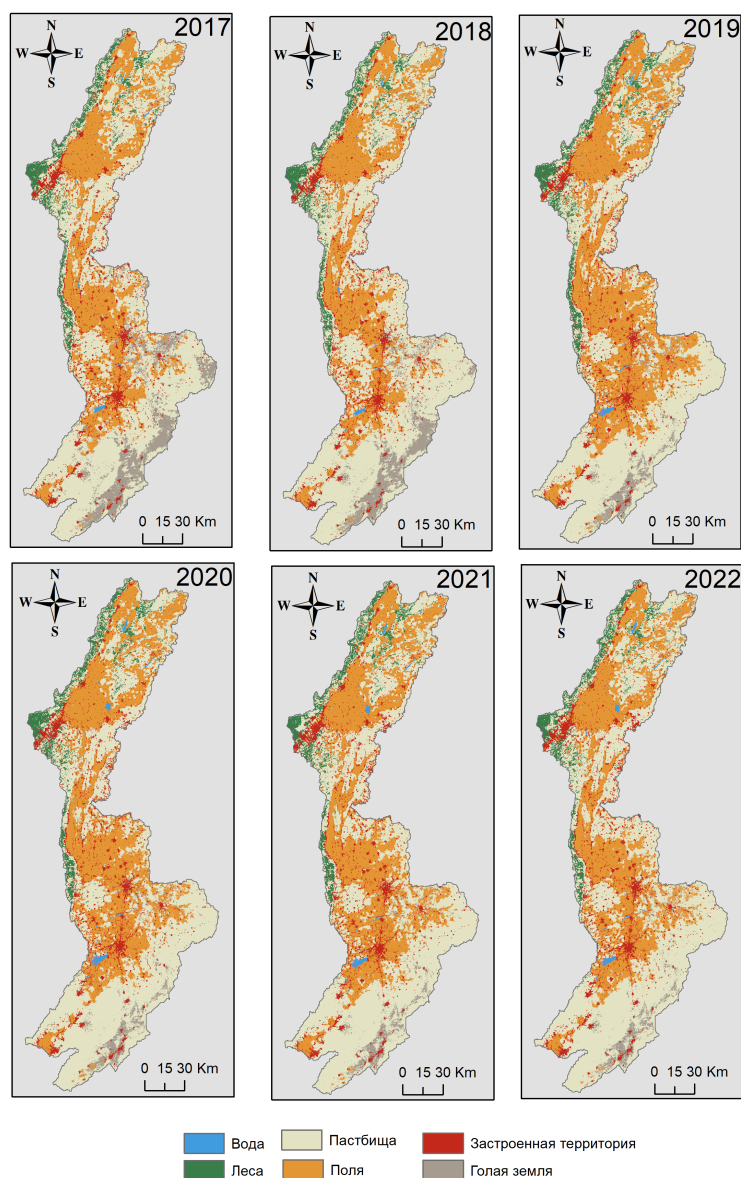


Рис. 5. Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронг) в 2017–2022 гг., по данным ESRI Land Cover

Таблица 1

Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронг) в 2017–2022 гг. (км²)

Тип наземного покрова	Год					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Вода	66.7	68.7	95.6	122.0	113.6	109.7
Лес	1134.5	1130.8	1225.2	1186.3	1144.6	1076.1
Поля	7015.8	6667.4	9200.1	8471.2	8283.8	7540.0
Застроенная территория	1848.8	1847.9	1794.7	1957.5	2010.4	2047.4
Голая земля	2198.0	1633.1	781.0	629.1	617.2	623.7
Пастбища	12 381.1	13 286.0	11 529.6	12 258.6	12 462.0	13 230.9

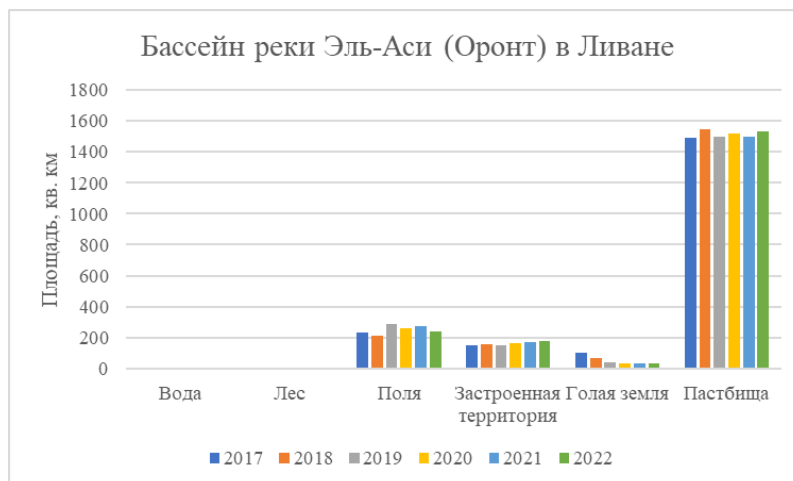


Рис. 6. Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017–2022 гг. на территории Ливана, по данным ESRI Land Cover

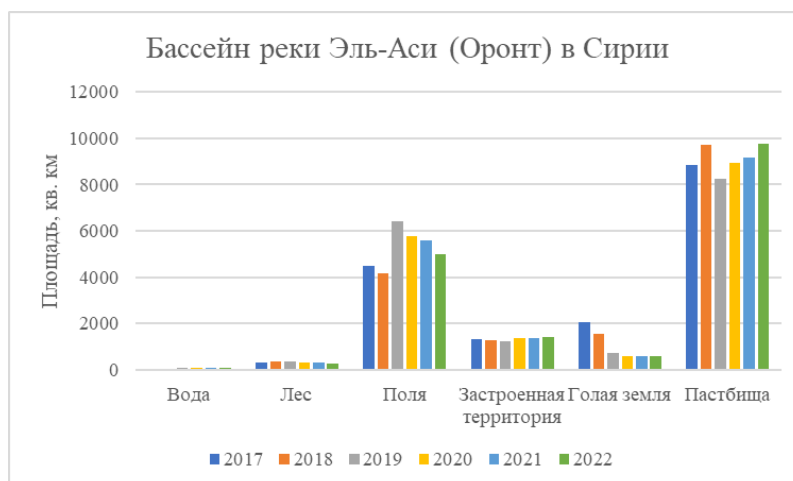


Рис. 7. Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017–2022 гг. на территории Сирии, по данным ESRI Land Cover

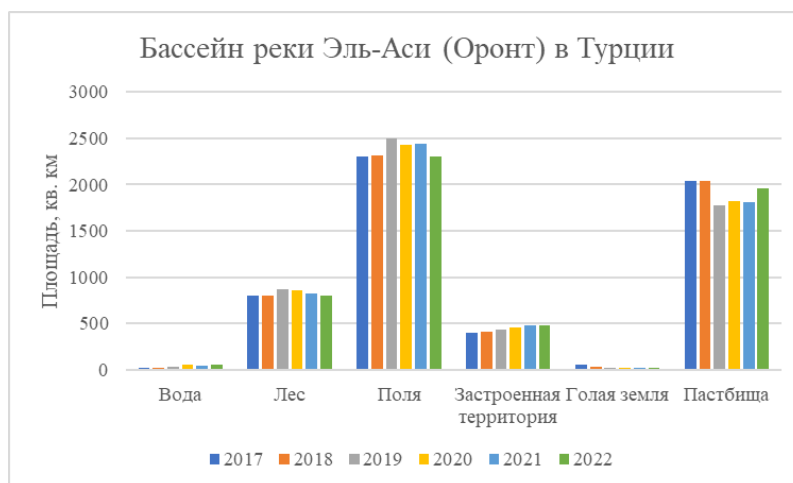


Рис. 8. Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017–2022 гг. на территории Турции, по данным ESRI Land Cover

В целом же представленные в работах [Atlas of the Orontes ... , 2022; Jomaa, Massaad; Chaaban, El Khattabi, Darwishe, 2022] данные о динамике типов наземного покрова выполнены на основе космических снимков меньшего разрешения по сравнению с данными ESRI Land Cover. В связи с этим именно использование данных ESRI Land Cover, имеющих пространственное разрешение 10 м/пиксель, является наиболее точным набором готовых пространственных данных о типах наземного покрова. Данный продукт разработан с использованием модели глубокого обучения искусственного интеллекта для классификации земель на основе значительного количества обучающих наборов данных помеченных человеком пикселей. Наборы данных о типах наземного покрова (land cover) могут активно применяться при исследовании динамики ландшафтов и экосистем различных территорий. Достоинствами глобальных данных о типах земного покрова являются их общеземной охват, свободный доступ, высокое пространственное разрешение.

К недостаткам этих данных можно отнести относительно небольшое количество классов (8–10), ограниченность глубины архива, существенные различия в точности у разных источников данных при картографировании разных типов земного покрова. Также можно отметить, что получение высокоточных карт растительного покрова является трудоёмким процессом, который требует достаточного количества времени, технологий, финансовых и других ресурсов [Chaaban, El Khattabi, Darwishe, 2022].

Перспективы дальнейших исследований в выбранном районе связаны с развитием средств мониторинга поверхности Земли и околоземного пространства при активном внедрении гиперспектральной съёмки в видимом и инфракрасном диапазонах в районе бассейна река Эль-Аси (Оронт) [Atlas of the Orontes ... , 2022].

Заключение

В работе на основании ESRI Land Cover — открытой базы данных о типах наземного покрова, с пространственным разрешением изображений 10 м/пиксель, были построены карты изменения типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) за период 2017–2022 гг.

Проанализированные данные имеют практическое значение при проведении исследований в бассейне реки Эль-Аси (Оронт). Разработанные электронные карты типов наземного покрова в бассейне Эль-Аси (Оронт) позволяют проводить мониторинг этой территории на основе данных дистанционного зондирования Земли из космоса. При регулярном обновлении исходных информационных продуктов становится возможным проводить постоянный мониторинг площадей и состояния наземного покрова, определять ключевые факторы, влияющие на динамику этого состояния.

Используемый набор данных может быть успешно применён для решения различного рода задач при исследовании бассейна Эль-Аси (Оронт), так как состояние наземного покрова и его динамика учитываются в контексте следующих исследований: физической климатической системы в глобальном масштабе, региональных и континентальных энергетических и водных балансов, глобальной биогеохимии, химии атмосферы, биоразнообразия, а также процессов, связанных с изменением качества земель, плодородия почв и биоразнообразия, вопросов устойчивого развития, устойчивого сельского хозяйства и освоения ресурсов, землевладения и землепользования.

Список литературы

1. Гражданская война в Сирии (2011–2016) // РИА новости. – URL: <https://ria.ru/20160315/1388247407.html>. – Дата публикации: 15.03.2016.
2. Елсаков В. В., Марущак И. О., Щанов В. М. Картирование растительного покрова бассейна р. Кожим (Приполярный Урал) с использованием материалов дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2009. – Вып. 6, т. 2. – С. 360–364.
3. Карта почв : атлас // Triptonkosti.ru. – Режим доступа: <https://triptonkosti.ru/19-foto/karta-pochv-atlas.html> (дата обращения: 20.11.2023).
4. Краснощеков К. В., Дергунов А. В., Пономарева Т. В. Геопространственный анализ техногенно-нарушенных экосистем Средней Сибири по спутниковым данным в ИК-диапазоне // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19, № 3. – С. 203–216. – <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-3-203-216>
5. Ливанов А. С., Солодовников Д. В. Перспективы применения ГИС Land Cover Classification System // Природно-социально-производственные системы: связь науки и практики : сб. науч. тр. / Нац. исслед. Мордов. гос. ун-т им. Н. П. Огарева, Отд-ние Рус. геогр. о-ва в Респ. Мордовия ; редкол.: А. Н. Фролов [и др.]. – Саранск : Индивидуальный предприниматель Афанасьев Вячеслав Сергеевич, 2016. – С. 20.
6. Оронт (река) // Планета Земля. Историческая география. – URL: <https://geosfera.org/aziya/2445-oront-reka.html> (дата обращения: 22.11.2023).
7. Потатуркин О. И., Борзов С. М., Потатуркин А. О., Узилов С. Б. Методы и технологии обработки мульти- и гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли высокого разрешения // Вычислительные технологии. – 2013. – Т. 18, № S1 (спец. вып.). – С. 60–67.
8. Реки Ближнего Востока. Ч. 1. Ефрат, Оронт / Науч.-информ. центр Межгос. координац. водохозяйств. комис. Центр. Азии ; ред. Мухина Е. – Ташкент : НИЦ МКВК, 2015. – 80 с. – (Информ. сб. ; № 42).
9. Рожанский И. Д. История естествознания в эпоху эллинизма и Римской империи / АН СССР, Ин-т истории естествознания и техники. – Москва : Наука, 1988. – 448 с.
10. Табунищик В. А., Горбунов Р. В. Динамика типов наземного покрова (land cover) в пределах бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор // Геология, география и глобальная энергия. – 2022. – № 3. – С. 78–88. – https://doi.org/10.54398/20776322_2022_3_78
11. Царев Ю. В., Бойко П. О., Панкова В. М. Исследование статистики изменения растительного покрова бассейна реки Волга // Вестник науки. – 2023. – Т. 2, № 6. – С. 750–754.
12. Эль-Аси (Оронт) // Словарь географических названий зарубежных стран / ЦНИИ геодезии, аэросъемки и картографии им. Ф. Н. Красовского ; сост.: Л. И. Аненберг [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1986. – С. 448.
13. Ahmad F., Goraraju L., Qayum A. LULC analysis of urban spaces using Markov chain predictive model at Ranchi in India // Spatial Information Research. – 2017. – Vol. 25, iss. 3. – P. 351–359. – <https://doi.org/10.1007/s41324-017-0102-x>
14. Arifeen H. M., Phoungthong K., Mostafaeipour A., Yuangyai N., Yuangyai C., Techato K., Jutidamrongphan W. Determine the land-use land-cover changes, urban expansion and their driving factors for sustainable development in Gazipur Bangladesh // Atmosphere. – 2021. – Vol. 12, iss. 10. – P. 1353–1356. – <https://doi.org/10.3390/atmos12101353>

15. Atlas of the Orontes River Basin / eds: Jaubert R. [et al.] ; Graduate Inst. of Intern. and Development Studies. – 2nd ed. – [Geneva : s. n.], 2022. – 72 p.
16. Bora A., Walia D., Mipun B. S. Land use land cover change and hotspot identification of upper Meghna River basin, India // *Indian Forester*. – 2023. – Vol. 149, iss. 2. – P. 111–119. – <https://doi.org/10.36808/if/2023/v149i2/169708>
17. Chaaban F., El Khattabi J., Darwishe H. Accuracy assessment of ESA WorldCover 2020 and ESRI 2020 land cover maps for a region in Syria // *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*. – 2022. – Vol. 6. – Art. nr 31. – (23 p.). – <https://doi.org/10.1007/s41651-022-00126-w>
18. Changes in land use and land cover: a global perspective / ed. by W. B. Mayer and B. L. Turner. – Cambridge : Cambridge Univ. Press, 1994. – 537 p.
19. Comprehensive assessment of the fresh water resources of the world / World Meteorol. Org. – Stockholm : Stockholm Environment Inst., 1997. – 33 p.
20. Congalton R. G., Gu J., Yadav K., Thenkabail P., Ozdogan M. Global land cover mapping: a review and uncertainty analysis // *Remote Sensing*. – 2014. – Vol. 6, iss. 12. – P. 12070–12093. – <https://doi.org/10.3390/rs61212070>
21. Dai Y., Liu Z. Spatiotemporal heterogeneity of urban and rural water scarcity and its influencing factors across the world // *Ecological Indicators*. – 2023. – Vol. 153. – Art. nr 110386 (13 p.). – <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110386>
22. ESRI Land Cover 2050 // ESRI. – URL: <https://livingatlas.arcgis.com/landcover-2050/> (дата обращения: 20.11.2023).
23. Goldewijk K. K. Estimating global land use change over the past 300 years: the HYDE database // *Global Biogeochemical Cycles*. – 2001. – Vol. 15, iss. 2. – P. 417–433. – <https://doi.org/10.1029/1999GB001232>
24. Hussien K., Kebede A., Mekuriaw A., Asfaw Beza S., Haile Erena S. Modelling spatiotemporal trends of land use land cover dynamics in the Abbay River basin, Ethiopia // *Modeling Earth Systems and Environment*. – 2023. – Vol. 9, iss. 1. – P. 347–376. – <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01487-3>
25. Irrigation in the Middle East region in figures / ed. by K. Frenken ; The Food and Agr. Org. of the UN. – Rome : FAO, 2009. – 401 p.
26. Jomaa I., Massaad R. Orontes River watershed (El Assi River watershed) // *Academia*. – URL: <https://www.academia.edu/39026282/Orontes> (дата обращения: 01.06.2023). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
27. Joseph S., Rahul R., Sukanya S. Land use/land cover (LU/LC) changes and its impact on soil organic carbon stock in Killiar River basin, Kerala, India: a geospatial approach // *Current World Environment*. – 2021. – Vol. 16, № 3. – P. 665–678. – <https://doi.org/10.12944/CWE.16.3.2>
28. Kloosterman F. H., Vermooten J. S. A. Dutch-Syrian water cooperation: development of a numerical groundwater flow model for the larger Orontes basin : final report / The Netherl. Org. – [Netherlands] : TNO Built Environment and Geosciences, 2008.
29. Konukcu F., Albut S., Altirk B. Land use/land cover change modelling of ergene river basin in Western Turkey using CORINE land use/land cover data // *Agronomy Research*. – 2017. – Vol. 15, nr 2. – P. 435–443.
30. Land cover classification system (LCCS): classification concepts and user manual / Di Gregorio A., Jansen L. J. M. ; The Food and Agr. Org. of the UN. – Version 1.0. – [S. l.] : FAO, 2000. – URL: https://www.fao.org/3/x0596e/X0596e00.htm#P-1_0 (дата обращения: 11.10.2023).

31. *Lin Y. P., Verburg P. H., Chang C. R., Chen H. Y., Chen M. H.* Developing and comparing optimal and empirical land-use models for the development of an urbanized watershed forest in Taiwan // *Landscape and Urban Planning*. – 2009. – Vol. 92, iss. 3/4. – P. 242–254. – <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.05.003>
32. *Mhanna S., Halloran L. J. S., Zwahlen F., Asaad A. H., Brunner P.* Using machine learning and remote sensing to track land use/land cover changes due to armed conflict // *Science of The Total Environment*. – 2023. – Vol. 898. – Art. nr 165600 (15 p.). – <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165600>
33. *Munther J. H.* Water issues in the Middle East challenges and opportunities // *Water Policy*. – 2002. – Vol. 4, iss. 3. – P. 205–222. – [https://doi.org/10.1016/S1366-7017\(02\)00028-4](https://doi.org/10.1016/S1366-7017(02)00028-4)
34. *Nagraj S. P., Nataraja M.* Effect of land use land cover changes on runoff using hydrological model: a case study in Hiranyakeshi watershed // *Modeling Earth Systems and Environment*. – 2020. – Vol. 6. – P. 2345–2357. – <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00808-8>
35. *Näschen K., Diekkrüger B., Evers M., Höllermann B., Steinbach S., Thonfeld F.* The impact of land use/land cover change (LULCC) on water resources in a tropical catchment in Tanzania under different climate change scenarios // *Sustainability*. – 2019. – Vol. 11, iss. 24. – Art. nr 7083. – <https://doi.org/10.3390/su11247083>
36. *Ndulue E. L., Mbajorgu C. C., Ugwu S. N., Ogwo V., Ogbu K. N.* Assessment of land use/cover impacts on runoff and sediment yield using hydrologic models: a review // *Journal of Ecology and the Natural Environment*. – 2015. – Vol. 7, iss. 2. – P. 46–55. – <https://doi.org/10.5897/jene2014.0482>
37. *Orontes River Basin // Inventory of shared water resources in Western Asia / UN, Econ. and Social Commis. for Western Asia [et al.]. – Beirut : ESCWA, 2013. – Chap. 7. – URL: https://waterinventory.org/sites/waterinventory.org/files/chapters/Chapter-07-Orontes-River-Basin-web_1.pdf (дата обращения: 17.11.2023).*
38. *Phiri D., Morgenroth J.* Developments in Landsat land cover classification methods: a review // *Remote Sensing*. – 2017. – Vol. 9, iss. 9. – Art. nr 967. – <https://doi.org/10.3390/rs9090967>
39. *Rawat J. S., Biswas V., Kumar M.* Changes in land use/cover using geospatial techniques: a case study of Ramnagar town area, district Nainital, Uttarakhand, India // *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. – 2013. – Vol. 16, iss. 1. – P. 111–117. – <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2013.04.002>
40. *Ribeiro C. B. M., Mohanty B. P., Rotunno Filho O. C., Filgueiras E. T., Xavier L. N. R., Araújo A. A. M.* Water balance and the moist planetary boundary layer driven by land use and land cover change across the Amazon basin // *Water*. – 2023. – Vol. 15, iss. 23. – Art. nr 4052. – <https://doi.org/10.3390/w15234052>
41. *Rockström J., Steffen W., Noone K., Persson Å., Chapin F. S., Lambin E. F., Lenton T. M., Scheffer M., Folke C., Schellnhuber H. J., Nykvist B., de Wit C. A., Hughes T., van der Leeuw S., Rodhe H., Sörlin S., Snyder P. K., Costanza R., Svedin U., Falkenmark M., Karlberg L., Corell R. W., Fabry V. J., Hansen J., Walker B., Liverman D., Richardson K., Crutzen P., Foley J. A.* A safe operating space for humanity // *Nature*. – 2009. – Vol. 461, iss. 7263. – P. 472–475. – <https://doi.org/10.1038/461472a>
42. *Sentinel-2 10-Meter Land Use/Land Cover // ESRI. – URL: <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/> (дата обращения: 17.11.2023).*
43. *Shaban A.* Rivers of Lebanon: significant water resources under threats // *Hydrology* / eds: Hromadka T. V., Rao P. – London : IntechOpen, 2021. – <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.94152>

44. *Tabunshchik V., Gorbunov R., Bratanov N., Gorbunova T., Mirzoeva N., Voytsekhovskaya V.* Fatala river basin (Republic of Guinea, Africa): analysis of current state, air pollution, and anthropogenic impact using geoinformatics methods and remote sensing data // *Sustainability*. – 2023. – Vol. 15, iss. 22. – Art. nr 15798. – <https://doi.org/10.3390/su152215798>
45. *Tabunshchik V., Gorbunov R., Gorbunova T.* Anthropogenic transformation of the river basins of the northwestern slope of the Crimean Mountains (The Crimean Peninsula) // *Land*. – 2022. – Vol. 11, iss. 12. – Art. nr 2121. – <https://doi.org/10.3390/land11122121>
46. *Traboulsi M.* Les précipitations au Proche-Orient: variabilité spatio-temporelle et relations avec la dynamique de l'atmosphère (1960–61/1989–90) : dr diss. – Dijon, 2004. – 233 p.
47. *Turan F., Eken M. D., Ergerler A.* Assessment of water quality of the Orontes River basin, Turkey // 1st International conference on environment, technology and management (ICETEM), 27–29 June 2019, Niğde, Turkey : proc. book / Niğde Ömer Halisdemir Univ. ; ed. by I. Kacar. – Niğde, Turkey : [s. n.], 2020. – P. 821-826.
48. *Winkler K., Fuchs R., Rounsevell M., Herold M.* Global land use changes are four times greater than previously estimated // *Nature Communications*. – 2021. – Vol. 12, iss. 1. – P. 1–10. – <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>
49. *Wubie M. A., Assen M., Nicolau M. D.* Patterns, causes and consequences of land use/cover dynamics in the Gumara watershed of lake Tana basin, Northwestern Ethiopia // *Environmental Systems Research*. – 2016. – Vol. 5. – Art. nr 8 (12 p.). – <https://doi.org/10.1186/s40068-016-0058-1>
50. *Yılmaz A. B., Doğan M.* Heavy metals in water and in tissues of himri (*Carasobarbus luteus*) from Orontes (Asi) River, Turkey // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2008. – Vol. 144. – P. 437–444. – <https://doi.org/10.1007/s10661-007-0005-8>
51. *Zaki N. A., Klöve B., Haghghi A. T.* Expanding the irrigated areas in the MENA and Central Asia: challenges or opportunities? // *Water*. – 2022. – Vol. 14, iss. 16. – Art. nr 2560. – <https://doi.org/10.3390/w14162560>

LAND COVER DYNAMICS IN THE BASIN EL-ASI RIVER (ORONTE) IN 2017–2022

**Tabunshchik V. A.¹, Nikiforova A. A.¹, Lineva N. P.^{1,2}, Mirzoeva N. Yu.¹, Cherny G. S.^{1,3},
Kerimov I. A.⁴, Makhmudova L. Sh.⁴, Gagaeva Z. Sh.⁴, Andronchik Ya. O.¹**

¹*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,*

²*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation,*

³*World Ocean, Climate and Ecology Research Center Autonomous Non-Profit Organization
(WOCERC ANO), Sochi, Russian Federation,*

⁴*M. D. Millionshchikov Grozny State Oil Technical University, Grozny, Russian Federation,
e-mail: tabunshchik@ya.ru*

Abstract: The dynamics of land cover in the El-Asi (Orontes) River basin for 2017–2022 has been studied. Theoretical concepts of the types of land cover and the use of remote methods for its study were analyzed. The description of the research area is given, the characteristics of the data on the types of ground cover used in the work are described, and the research methodology is described. Based on the results of the study, the dynamics of land cover types in the El-Asi (Orontes) River basin in 2017–2022, their discussion and prospects for future research in the El-Asi (Orontes) River basin were analyzed.

Keywords: land cover, El-Asi River, Orontes River, monitoring, river basin, geoinformation systems, GIS, remote sensing.

Сведения об авторах

- Табунщик Владимир Александрович — научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: tabunshchik@ya.ru
- Никифорова Александра Александровна — младший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: nikiforova_a@ibss-ras.ru
- Линева Настасья Павловна — лаборант, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, Российская Федерация; студент, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», просп. Академика Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Российская Федерация, e-mail: n.linyova@mail.ru
- Мирзоева Наталья Юрьевна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом радиационной и химической биологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: mirzoyevanyu@ibss-ras.ru
- Черный Георгий Сергеевич — заместитель директора по международной деятельности, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, Российская Федерация; директор, АНО «Научно-исследовательский центр Мирового океана, климата и экологии», ул. Ленина, д. 250, кв. 10, г. Сочи, Краснодар. край, 354382, Российская Федерация, e-mail: innovation@ibss-ras.ru
- Керимов Ибрагим Ахмедович — доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова», ул. Авторханова, 14/53, г. Грозный, 364001, Российская Федерация, e-mail: ibragim_kerimov@mail.ru
- Махмудова Любовь Ширваниевна — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова», ул. Авторханова, 14/53, г. Грозный, 364001, Российская Федерация, e-mail: mls66@mail.ru
- Гагаева Зульфира Шерпаевна — кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова», ул. Авторханова, 14/53, г. Грозный, 364001, Российская Федерация, e-mail: zsh_gagaeva@mail.ru
- Андрончик Ярослав Олегович — заместитель директора по административно-хозяйственной деятельности, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: zamfin@ibss-ras.ru

*Поступила в редакцию 08.12.2023 г.
Принята к публикации 15.01.2024 г.*