

ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 911.3:504.06

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЧНЫХ ДОЛИН ТУРЦИИ

© 2026 г. О.А. Илларионова, А.М. Макогонова

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: heatherpaw95@gmail.com*

Поступила в редакцию 27.02.2026. После доработки 01.03.2026. Принята к публикации 01.03.2026.

Речные долины Турции, занимая менее 5% её территории, играют ключевую роль в поддержании экологического баланса аридных регионов, которые составляют более 60% страны. Данная работа оценивает трансформацию землепользования и её влияние на экологическое функционирование 63 речных долин Турции за 1990-2018 гг. С помощью выделения долин по Copernicus GLO-30 DEM и анализа данных Corine Land Cover был разработан индекс экологической эффективности. Результаты показывают, что 65% площади долин хозяйственно освоены, до 40% занято орошаемыми пашнями. Основное изменение – это переход от неорошаемых земель к орошаемым (16% преобразованной площади) на фоне десятикратного роста запечатанных поверхностей. Отмечается, что экологическая эффективность долин снижается именно в тех регионах, где их экосистемные услуги необходимы больше всего.

Ключевые слова: экологическая эффективность землепользования, выделение речных долин, экосистемные услуги, адаптация к изменению климата, трансформация экосистем, долины аридных регионов.

DOI: 10.24412/2542-2006-2026-1-134-154

EDN: WNHCRW

В аридных регионах, занимающих более 60% территории Турции (Koc et al., 2015) – Центральной, Юго-Восточной и Восточной Анатолии, – речные долины играют исключительную экологическую роль. В условиях сухого климата именно вдоль рек формируются наиболее продуктивные экосистемы с высоким биоразнообразием и эффективностью секвестрации углерода. В условиях дефицита влаги долины служат основным источником воды и плодородных почв для сельского хозяйства. Согласно докладу ООН 2024 (United Nations, 2024), Турция входит в десятку стран Азии с наибольшим водным стрессом (изымается более 60% возобновляемых водных ресурсов). Прогнозируется, что к 2050 году поверхностный сток, составляющий более 80% водных ресурсов страны, сократится в аридных регионах на 30%. Здесь же ожидается рост частоты и продолжительности засух, тогда как в других частях страны (особенно в Причерноморье) участятся наводнения, на которые уже сегодня приходится треть всех стихийных бедствий. Антропогенное освоение долин, особенно урбанизация и расширение сельхозугодий, усугубляет эти проблемы.

Большинство исследований трансформации землепользования в Турции (Özgenç, Uzun, 2024) проводятся для отдельных речных бассейнов, поскольку условия формирования стока и качество водных ресурсов зависят от структуры землепользования этих территорий (Karabulut et al., 2023). Изучению же трансформации землепользования именно в речных долинах в национальном масштабе уделяется меньше внимания из-за сложностей выделения их геоморфологических границ на большой территории. Более представлены исследования приречных буферных зон (Akturk et al., 2024), показывающие, что даже там свыше 30%

площадей занято сельхозугодьями. Работ же, исследующих трансформацию землепользования разных долин, практически не представлено.

В морфометрическом смысле, в состав речной долины входят поймы, надпойменные террасы и склоны террас, при этом верхней границей поперечного профиля речной долины обычно считается верхняя бровка склона долины, где его крутизна резко уменьшается и переходит в поверхность водораздела. Ниже этой линии геоморфологические и гидрологические процессы преимущественно контролируются рекой, а выше – другими факторами (Straumann, Purves, 2008).

Антропогенная трансформация элементов речных долин ведет к утрате экологических функций пойм, обеспечивающих фильтрацию воды и накопление питательных веществ для формирования плодородных аллювиальных почв (Wang et al., 2023). Проблеме деградации водно-болотных угодий и тугайных лесов посвящены многочисленные работы по антропогенной трансформации рипарианских зон Турции (Akturk et al., 2024; Atesoglu et al., 2025), в результате которой сокращается ландшафтное и видовое биоразнообразие, а также снижается устойчивость экосистем, поскольку речные долины служат ключевыми экологическими коридорами. Кроме того, исследования для отдельных регионов и бассейнов рек Турции (Sariyildiz et al., 2022) указывают на то, что уничтожение экосистем-поглотителей углерода, которые в естественных условиях аридных зон сосредоточены вдоль рек, и формирование типов землепользования, преимущественно выступающих эмитентами (пастбища и пашни), увеличивает выбросы парниковых газов от сектора землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство (ЗИЗЛХ) в углеродном балансе. Учитывая, что в Турции около 20% антропогенных выбросов парниковых газов приходится на сектор ЗИЗЛХ (Turkey CCDR, 2022), замена эффективных экосистем-поглотителей эмитентами лишь усиливает уязвимость региона к последствиям изменения климата. Другие исследования (Selim et al., 2024; Ozdemir, Akbas, 2023) показали, что уничтожение растительного покрова и распашка склонов надпойменных террас в бассейнах рек Улус и Богачай на юго-западе Турции приводят к более интенсивной эрозии, более частым наводнениям и повышению локальных температур и засушливости вследствие уменьшения испарения. Всё это нарушает естественный водообмен региона в результате антропогенных трансформаций структуры земельного покрова долин, повышая уязвимость Турции к последствиям изменения климата. Урбанизация в пределах речных долин и сельскохозяйственное освоение также сказывается и на ухудшении качества воды, что усугубляет существующую проблему водного стресса (Cooper et al., 2013). Однако в отдельных речных бассейнах реализуются проекты по восстановлению естественной растительности, в частности для уменьшения темпов эрозии (Ediř et al., 2023). В некоторых долинах отмечается и зарастание бывших сельскохозяйственных угодий (Külahhođlu et al., 2025).

По этим причинам оценка темпа и характера трансформации землепользования речных долин в аридных регионах, где реки выполняют исключительные экологические функции для поддержания устойчивости в условиях глобальных вызовов, важна для понимания современной уязвимости страны, аналогичных регионов и трендов ближайших лет.

Таким образом, наша цель – оценить трансформацию землепользования в речных долинах Турции и ее последствия для их экологической эффективности за период 1990-2018 гг., используя открытые геопространственные данные. В ходе этого исследования мы пытаемся ответить на нижеследующие вопросы.

1) Сохраняют ли речные долины свою экологическую эффективность, несмотря на антропогенное развитие?

2) Чем отличается структура землепользования и тенденции трансформации в них от других территорий страны, учитывая их уникальную экологическую роль?

3) Какова пространственная дифференциация текущей экологической эффективности долин и тенденций ее трансформации?

На основании наших предыдущих исследований речных долин (Iparionova, Klіmanova, 2024) и других исследований аналогичных засушливых регионов (Han et al., 2022), мы выдвигаем гипотезу, что, несмотря на свою экологическую ценность, речные долины в основном подвергаются антропогенной трансформации, т.е. их экологическая эффективность снижается по экономическим причинам.

Материалы и методы

Объектом исследования выступили долины рек в административных границах Турции длиной не менее 100 км – всего 107 водотоков с площадью водосбора более 1500 км² каждый. Согласно климатическим, флористическим и геоморфологическим особенностям, территорию страны разделяют на 7 экорегионов (Ergüner et al., 2019). Южные приморские регионы – Эгейский и Средиземноморский – характеризуются субтропическим средиземноморским климатом с мягкой влажной зимой, засушливым летом и осадками 600-1100 мм/год. Северные приморские регионы – Мармара и Черноморский – отличаются значительным градиентом осадков с запада на восток (от 600 до 2000 мм/год). Три аридных региона с континентальным климатом и осадками менее 400 мм/год – Центрально-Анатолийский, Восточно-Анатолийский и Юго-Восточно-Анатолийский – занимают большую часть территории страны (Koc et al., 2015). Реки Средиземноморского бассейна прорезают глубокие ущелья (до 2000 м) в палеоген-неогеновых породах, с узкими поймами (до 2 км) и 4-7 надпойменными террасами высотой до 200 м (Kuzucuoğlu et al., 2019). Естественная растительность представлена тугайными лесами. Реки Черноморского бассейна имеют V-образные долины глубиной 100-500 м с поймами шириной 1-4 км и 2-4 террасами высотой до 100 м (Doğan, 2011), с ольховыми и грабовыми лесами. Крупные транзитные реки юго-востока (Евфрат, Тигр) характеризуются широкими поймами (3-10 км) и высокими террасами (до 200 м), также с тугайной растительностью (Demir et al., 2004; Akbulut et al., 2022).

Алгоритм и методы исследования. Исследование включало три этапа: выделение речных долин, инвентаризацию землепользования в них и оценку изменений экологической эффективности. Первый этап заключался в выделение речных долин. Речные долины выделялись на основе цифровой модели рельефа Copernicus GLO-30 с разрешением 30 м с использованием инструмента Valley Depth в Saga GIS. Этот метод определяет вертикальное расстояние до базового уровня сети водотоков путём интерполяции высот водоразделов и их вычитания из исходных высот (Clubb et al., 2022). Подход близок к методике автоматизированного выделения долин и их днищ, предложенной (Straumann, Purves, 2008), где важным этапом является сравнение высот ячеек цифровых моделей рельефа (ЦМР) с высотой дренажной сети окружающих водоразделов. Предварительно была инвентаризирована речная сеть. Исследовались долины рек длиной более 100 км, поскольку у рек меньшей длины долины слишком узкие для анализа (менее 100 м). Векторные данные HydroAtlas были генерализованы, верифицированы и дополнены по OpenStreetMap (тег «waterways») и снимкам Google Planet за 2022-2024 гг. В итоге были отобраны 63 реки и выделено соответствующее число долин.

Растр Valley Depth был реклассифицирован по наиболее резким перепадам глубины, что позволяет выявить чёткие границы долин, выраженные склонами (Straumann, Purves, 2008). Для равнинных и низкогорных рек Турции средняя глубина долин составляет 100-200 м (Kuzucuoğlu et al., 2019), поэтому диапазон классов реклассификации был выбран аналогичным. На участках с нечёткими границами, особенно на нижних участках долин,

проводилось ручное дешифрирование по снимкам с высоким пространственным разрешением Google.Planet (рис. 1).

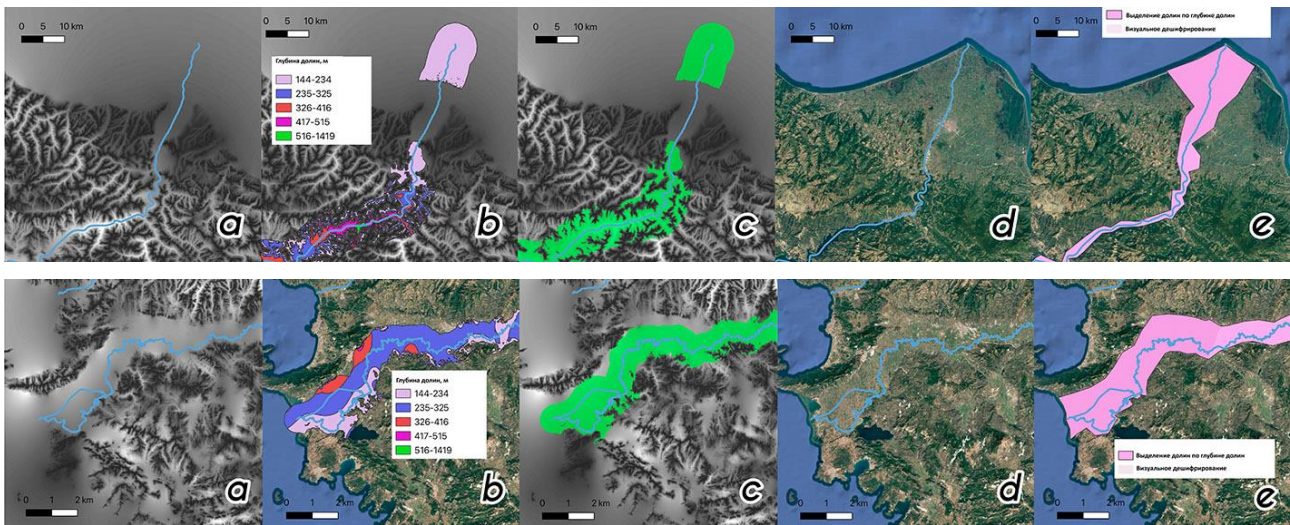


Рис. 1. Процесс выделения участков долины р. Кызылырмак с помощью ручной интерпретации (вверху) и долины р. Морали-Чай с помощью полностью автоматизированного метода (внизу). *Условные обозначения:* а – растровое изображение глубины долины и векторный слой реки, б – результат переклассификации растрового изображения глубины долины, с – результат автоматического объединения классов, d – вектор реки на изображении Google.Planet, e – окончательный вектор долины. **Fig. 1.** Process of delineating parts of the Kızılırmak River valley using manual interpretation (top) and the Morali-Çay River valley using a fully automated method (bottom). *Legend:* a – valley depth raster and river vector layer, b – result of valley depth raster reclassification, c – result of automated class union, d – river vector on Google.Planet image, e – final valley vector.

На втором этапе использовались данные Corine Land Cover за 1990 и 2018 гг. Классы землепользования данного источника были объединены в 10 категорий (табл. 1).

На следующем этапе классы землепользования были ранжированы по их способности обеспечивать ключевые экосистемные услуги (табл. 1). Баллы экологической эффективности назначались экспертным путём на основе работ по оценке экосистемных услуг в мире (Maes et al., 2013; Bukvareva et al., 2021) и в Турции (Ersoy Tonyaloğlu, 2025; Özşahin, Uygur, 2014), а также исследований по отдельным услугам: контроль эрозии (Özşahin, Uygur, 2014), регулирование стока (Azgin, Celik, 2020), депонирование углерода и биопродуктивность (Karahalil et al., 2018; Çomaklı et al., 2025), климатическое регулирование (Onur, Tezer, 2015). Согласно некоторым работам (Bukvareva et al., 2021; Yuan et al., 2023), эффективность функционирования экосистемы близка к понятию потенциального объёма экосистемных услуг, т.е. всех благ, которые экосистемы могут предоставлять. Для каждой долины реки был получен интегрированный балл эффективности функционирования её экосистем. Для этого применялась следующая формула:

$$VEE = \frac{1}{\max EEI} \times \sum_{i=1}^n (LU_i \times EEI_i)$$

где VEE – эффективность функционирования речных экосистем, LU – доля от площади долины реки, занятая классом землепользования i , EEI – индекс эффективности экосистемы для класса землепользования i , i – класс землепользования, n – количество классов

землепользования внутри долины реки. Мах ЕЕІ – это максимальное значение ЕЕІ, равного 18 (табл. 1). Формула расчёта эффективности функционирования речных экосистем – это нормализованная сумма индексов экосистемной эффективности для всех классов землепользования внутри долины, учитывающую их процентное соотношение. Мы также оценили изменения экосистемной эффективности для долин, расположенных в континентальных и влажных регионах, высокогорьях (выше 1500 м н.у.м. БС), на крутых склонах (крутизна > 12°) и на территориях с сильно расчленённым рельефом (индекс Terrain Ruggedness Index > 15). Для этого были выделены зоны высокогорья путём реклассификации ЦМР; территории с сильным расчленением рельефа на основе растра TRI; зоны крутых склонов по растру крутизны; а также границы континентальных и приморских экорегионов по данным исследования (Çerçi et al., 2024).

Таблица 1. Экологическая эффективность ключевых классов землепользования.
Table 1. Ecological efficiency of key land use classes.

Класс землепользования / Экосистемная услуга	Регулирование стока	Регулирование эрозии	Секвестрация углерода	Формирование среды обитания и поддержка биоразнообразия	Продукция биомассы	Регулирование климата	Индекс экосистемной эффективности
Леса	3	3	3	3	3	3	18
Водно-болотные угодья	3	3	3	3	3	2	17
Луга и пастбища	2	3	3	3	3	2	16
Сады и плантации	2	2	2	2	2	2	12
Неорошаемые пашни	2	2	2	2	2	1	11
Водные объекты	3	0	1	3	0	3	10
Орошаемые пашни	1	1	1	1	2	1	7
Незапечатанные территории с разреженной растительностью или без растительности	1	1	1	1	1	1	6
Запечатанные территории	0	0	0	0	0	0	0

Результаты и обсуждение

Современная структура землепользования. Более 40% площади долин крупнейших рек Центральной, Восточной и Юго-Восточной Анатолии занято орошаемыми пашнями (рис. 2). Высокогорные долины Восточной Анатолии выделяются преобладанием пастбищ. Долины влажных приморских регионов более чем на 50% заняты садами и виноградниками, также встречаются наиболее залесённые долины. Водно-болотные угодья занимают не более 2%.

На наиболее экологически эффективные экосистемы – водно-болотные угодья – приходится менее 1%, с наибольшей долей у р. Арас Нехри (6%), где находятся основные научные станции природоохранной НПО KuzeyDoğa. Следующие по эффективности экосистемы – лесные – занимают лишь 10% площади долин, с наибольшими значениями более 30% у малых рек в Черноморском и Средиземноморском регионах. Наиболее распространённый класс землепользования – сады и виноградники, а по абсолютным значениям площади больше всего орошаемых пашен. В сумме на все антропогенное

модифицированные ландшафты приходится более 65%, что позволяет говорить о высокой степени антропогенной трансформации речных долин в Турции.

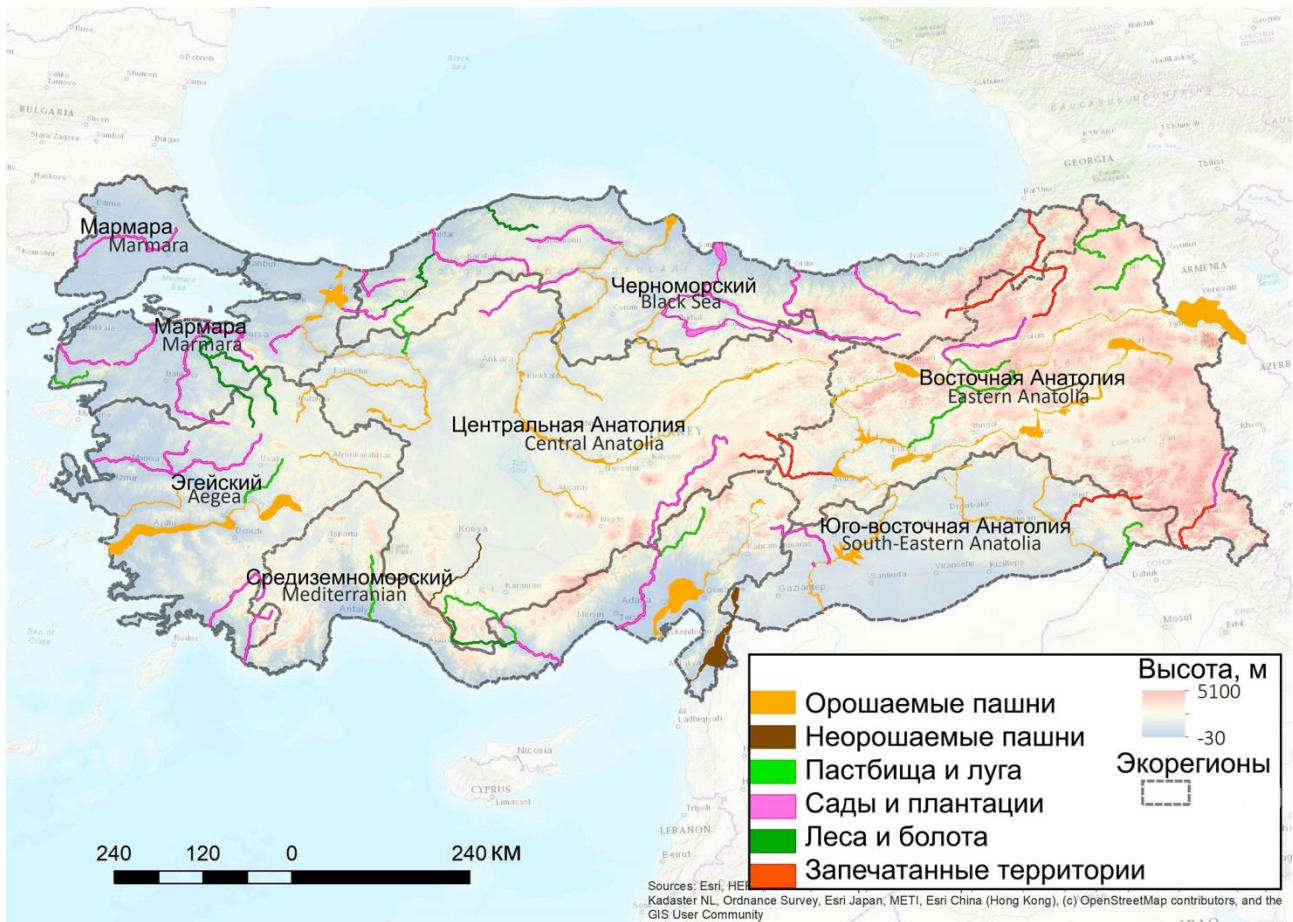


Рис. 2. Типы долин по преобладающему классу землепользования, 2018 г.

Fig. 2. Valley types by predominant land use class, 2018.

На рисунке 3 показаны долины, наиболее представительные в своем типе по преобладающему классу землепользования. Самые уязвимые к последствиям изменения климата континентальные регионы долин рек заняты орошаемыми пашнями. Пастбища и луга, как экологически более эффективные классы землепользования, встречаются на высотах 700-1000 м н.у.м. БС на пологих склонах, а леса сохраняются на самых крутых частях профиля. Сады тяготеют к ровным террасам, изредка преобладая на больших высотах. Крутые склоны часто распаханы, что усиливает эрозию и уменьшает подземный сток. Нижние части профилей в приморских регионах наиболее уязвимы к наводнениям. Большая их часть остаётся незапечатанной, но у рек Черноморского и Средиземноморского регионов до 40% площади низовий занята городами. Наибольшую экологическую эффективность сохраняют высокогорные речные долины Восточной Анатолии и региона Мармара. Долины малых рек отличаются большой сохранностью лесов и лугов, частично из-за менее удобного для освоения поперечного строения долины с узкими поймами и террасами.

Типы и темпы изменения землепользования. Около 40% площади долин за 1990-2018 гг. претерпели изменения в структуре землепользования, наиболее масштабная трансформация затронула нижние части долин крупнейших рек, а также верховья крупных и средних рек в аридной зоне (рис. 4). Наиболее динамичными классами оказались орошаемые пашни

и сады, площадь которых увеличилась у долин Центральной Анатолии на 10-22%, и долин приморских регионов на 10-24%. Отмечено сокращение орошаемых пашен в приморских регионах, Эгейском и Средиземноморском – на 20-40% (Оронтес, Гедиз, Кёпручай). Площади садов сократились на 26% в долинах аридных зон. Большинство орошаемых пашен здесь перешли в категорию неорошаемых (Эргене, Кайсамба, Оронтес). Более 20% площади долин Сакарья, Джейхан, Делис-Чайы, Тигра перешли из неорошаемых пашен в орошаемые.

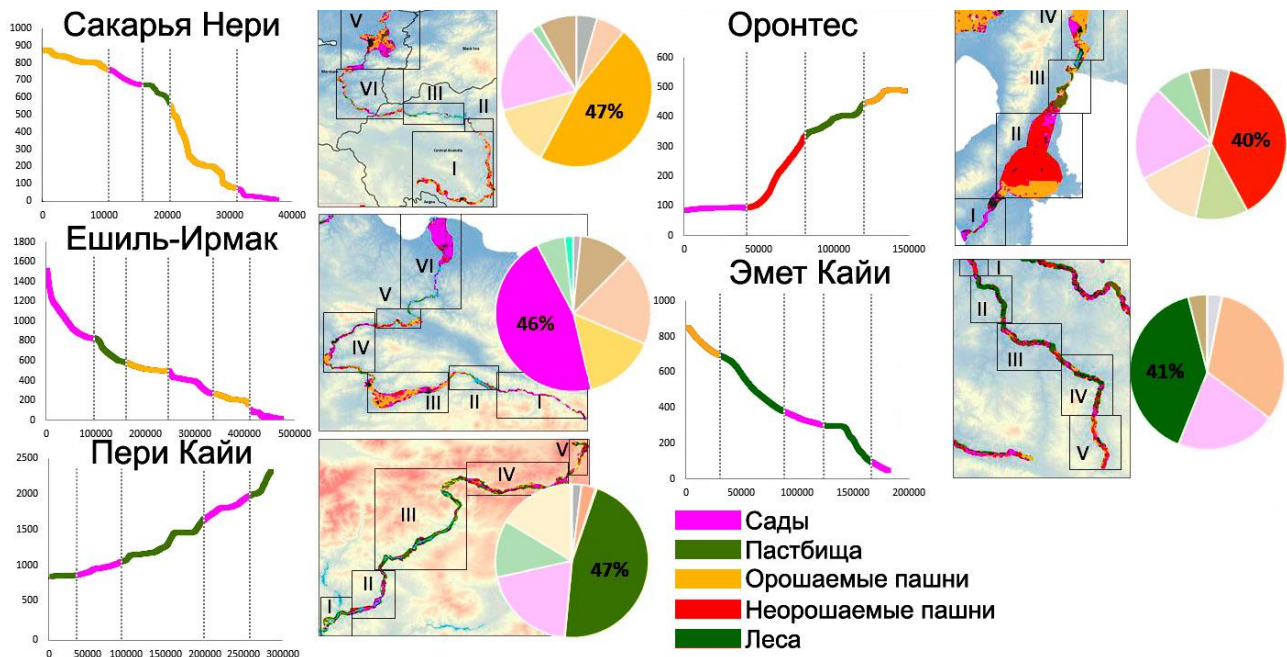


Рис. 3. Изменение преобладающего класса землепользования по продольным профилям представителей разных типов долин по преобладающему классу землепользования в 2018 г.
Fig. 3. Change in the prevailing land use class along longitudinal profiles of representatives of different types of valleys by prevailing land use class in 2018.

Класс лесов претерпел незначительные преобразования (сокращение менее чем на 1%), и отмечено увеличение на 7-10% лесов в долинах средних рек, таких как Эрменек Чайы, Эшен Чайы. В большей степени (до 16%) сократилась лесистость долин малых рек (Копручай, Гёрдес). Обычно на малые реки приходятся наиболее ценные экосистемы, и сейчас их освоение интенсифицировалось. Аналогичная динамика наблюдается и по водно-болотным угодьям. Средние сокращения составляют менее 1%, а для отдельных крупных рек сокращение достигает 9% (Акарчай). Положительная динамика наблюдается у Арас-нехри, где увеличилась доля водно-болотных угодий на 6% несмотря на исследования (Akturk et al., 2024; Atesoglu et al., 2025) об активном хозяйственном освоении особо охраняемых рипарианских зон этой реки.

Наиболее распространённый тип трансформации во всех долинах – переход неорошаемых пашен в орошаемые – 16% всех преобразований. В 2 раза меньше территорий долин перешли из орошаемых пашен в неорошаемые (7%). Около 10% перешли из орошаемых пашен в сады, а из неорошаемых – 4%. В целом наибольшие изменения в долинах коснулись классов садов, орошаемых и неорошаемых пашен, лугов (табл. 2). Более 30% открытых пространств с разреженной растительностью перешли в категорию лугов и пастбищ, т.е. наблюдается масштабный процесс зарастания малопродуктивных территорий и их переход в более экологически эффективную группу землепользования.

Наиболее ценная категория землепользования – леса – по площади остались неизменными, однако половина всех лесов подверглась трансформации во взаимодействии с классом лугов и пастбищ. Процесс зарастания лугов лесами в 2 раза интенсивней обратного перехода, однако леса, ставшие лугами в результате пожаров и деградации растительности, велики. Категория водно-болотных угодий сравнительно стабильна, переходы наблюдаются только с классом лугов. Наименее продуктивные типы землепользования – запечатанные территории – увеличились в площади за последние 30 лет в 10 раз, основная застройка осуществлялась за счёт садов.



Рис. 4. Речные долины, претерпевшие преобразования 1990-2018 гг.

Fig. 4. River valleys that underwent transformations in 1990-2018.

Оценка изменений экологической эффективности. Половина рассмотренных долин рек претерпела изменения экосистемной эффективности, в большей степени отрицательных, которые связаны в первую очередь с переходом неорошаемых пашен в менее эффективные классы, в основном в орошаемые пашни (рис. 4). Отрицательные переходы сосредоточены в аридных и приустьевых зонах крупных рек. Положительные переходы связаны с переходом орошаемых пашен в более экологически эффективные классы – неорошаемые пашни и сады; и с зарастанием открытых пространств с разреженной растительностью и использованием бывших неорошаемых пашен для садов и плантаций. Реже повышение эффективности наблюдается у запечатанных территорий, изредка в приморских регионах запечатанные территории переходят в орошаемые пашни или сады.

Средняя экологическая эффективность долин составляет 63 балла. Средние значения для всех долин не изменились с 1990 г., но прослеживается пространственная дифференция изменений. Отрицательные переходы характерны для крупных и крупнейших рек аридных регионов. Положительные изменения встречаются реже, обычно в приморских регионах у малых рек (рис. 5).

Как видно из рисунка 6, в аридных регионах происходит снижение экологической эффективности долин более чем на 30%, причём в основном за счёт крупнейших рек, тогда как в приморских регионах наблюдаются положительные изменения, но менее чем 5% и только в долинах малых рек. Вероятно, роль долин для смягчения последствий изменения климата в аспекте регулирующих и поддерживающих экосистемных услуг в аридных зонах

будет снижаться, но может повышаться в приморских регионах. В высокогорных регионах Турции также наблюдается преобладание (на 20%) долинных территорий со снижением экологической эффективности (табл. 3). В отличие от континентальных зон, здесь это преимущественно связано с переходом лугов в менее экологически эффективные классы, в основном в открытые пространства с разреженным растительным покровом или орошаемые пашни. Между тем, в зоне высокогорья в чаще всего наблюдаются положительные переходы из класса садов в более эффективные – леса и болота, что связано с переносом данного типа хозяйства в низинные, приморские регионы. Несмотря на преобладание отрицательных переходов, на долинных участках с крутыми склонами и сильной расчленённостью рельефа напротив больше территорий (примерно на 30%) с повышением экологической эффективности. В основном это связано с зарастанием открытых пространств с разреженной растительностью. Аналогичная ситуация наблюдается на сильно расчленённых участках.

Таблица 2. Матрица трансформации категорий землепользования за 1990-2018 гг. в речных долинах Турции. **Table 2.** Land use category transformation matrix for 1990-2018 in river valleys of Turkey.

		2018 г.										
		Леса	Сады и плантации	Луга и пастбища	Орошаемые пашни	Неорошаемые пашни	Запечатанные территории	Незапечатанные территории без растительности	Водные объекты	Водно-болотные угодья	Σ 1990	
990	Площадь, км ²	Леса	–	143	252	6	5	26	7	46	1	485
	Сады и плантации	69	–	420	418	348	269	154	402	15	2095	
	Луга и пастбища	361	412	–	128	77	86	367	177	39	39	
	Орошаемые пашни	4	1015	68	–	803	101	13	130	9	9	
	Неорошаемые пашни	5	443	112	1717	–	90	23	256	1	2647	
	Запечатанные территории	3	83	24	31	19	–	5	13	1	178	
	Незапечатанные территории без растительности	32	250	840	34	42	52	–	266	3	1519	
	Водные объекты	4	23	23	24	12	8	42	–	9	146	
	Водно-болотные угодья	3	6	25	14	1	1	1	42	–	93	
	Σ 2018	486	2376	1764	2374	1307	632	613	1330	77	9960	

Основным трендом изменения землепользования последних 30 лет в речных долинах Турции является массовый переход неорошаемых пашен в орошаемые, тогда как

последствия изменения климата в аридных регионах учащаются и интенсифицируются. Растёт потребление воды в условиях увеличивающегося риска её дефицита в стране, который в т.ч. прогнозируется ООН (United Nations, 2024). Этот тип трансформации в наибольшей степени воздействует на сокращение водного стока и долгосрочную трансформацию гидрологического режима (Pusatli et al., 2009). Наибольшие темпы изменения землепользования и отрицательные переходы экологической эффективности наблюдаются у крупнейших и крупных рек, на которых расположены основные ГЭС. Подобные изменения могут повлиять на энергетическую безопасность страны, а со временем – и на другие сектора экономики.

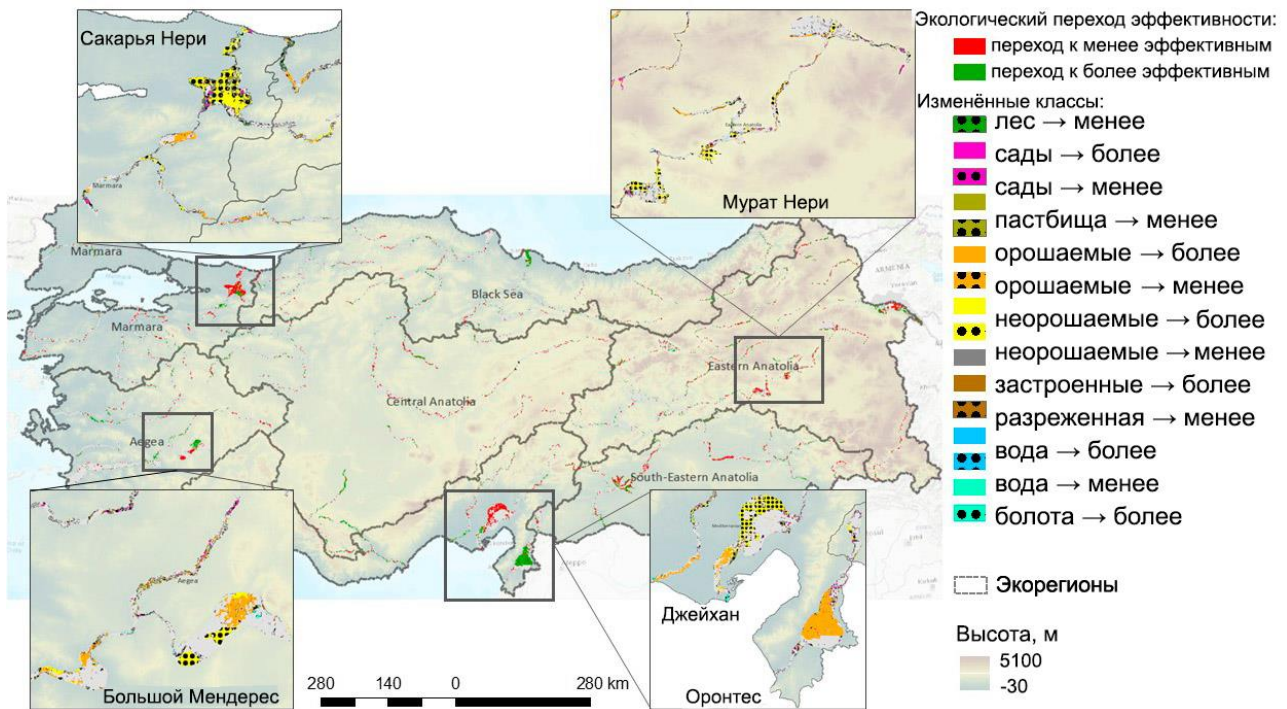


Рис. 5. Переход классов землепользования по экологической эффективности в 1990-2018 гг. в речных долинах Турции. **Fig. 5.** Transition of land use classes by environmental efficiency in 1990-2018 in the river valleys of Turkey.

Данный результат подтверждается исследованиями, указывающими на интенсивное расширение гидротехнической инфраструктуры для ирригационных целей в исследуемый период, в частности, в регионе Юго-Восточной Анатолии, где реализуется крупнейший в Турции одноимённый проект регионального развития в области использования водных и земельных ресурсов (Sakal, 2022). В ряде бассейнов крупных рек (Кызылырмак, Сакарья, Сейхан) континентальных регионов страны в рассматриваемый период отмечается интенсивный рост загрязнения воды хлоридами и сульфатами, что связано с увеличением загрязнённых удобрениями поверхностного стока в результате интенсификации ирригации (Yavuz et al., 2024). Как показывают наши результаты (рис. 3), у большинства речных долин орошаемые угодья находятся в верховьях, из-за чего ухудшение качества воды и деградация приречных и речных экосистем происходит на обширных участках ниже по течению.

Эта проблема также носит трансграничный характер в долине Евфрата, где загрязнённые воды, в т.ч. из-за сельскохозяйственной ирригации, попадают в Ирак и Сирию (Giovanis, Ozdamar, 2025). В реках Черноморского региона (например, Ешилырмак), наблюдаются

пространственные закономерности, при которых сельскохозяйственные стоки из верхнего течения вызывают резкие скачки концентрации азота и фосфора в нижнем течении, усугубляя эвтрофикацию и образование морских отложений в дельтах рек. В р. Кызылырмак сельскохозяйственные стоки в верхнем и среднем течении приводят к повышению уровня потенциально токсичных элементов – железа и алюминия, – превышая допустимые значения и представляя опасность для здоровья жителей города Самсуна в нижнем течении (Üstün Odabaşı, Ceylan, 2023). Между тем, из 13 существующих рамсарских водно-болотных угодий в Турции 3 находятся в дельтах рек (Гёксу, Гедиз, Кызылырмак). Аккумуляция загрязняющих веществ в дельтах и их эвтрофикация из-за активного сельского освоения долин и отсутствия долинных лесов, способных снизить попадание загрязнителей в речные воды, будет снижаться средообразующую функцию водно-болотных угодий, особенно важную для водоплавающих птиц (Dervisoglu, 2021).

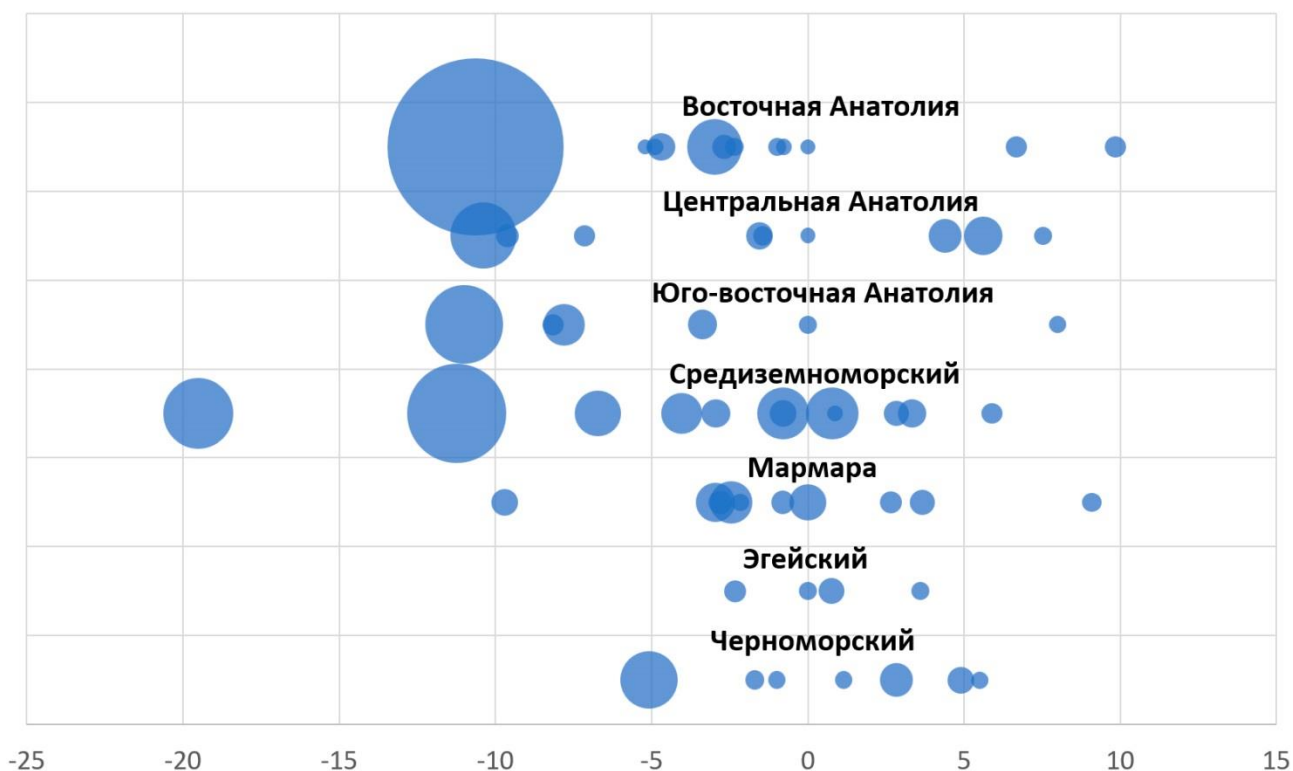


Рис. 6. Изменение экологической эффективности речных долин Турции за 1990-2018 гг. в разных экорегионах: размер круга отражает длину реки, ось X – процентные значения изменения экосистемной эффективности. **Fig. 6.** Changes in the ecological efficiency of river valleys in Turkey from 1990 to 2018 in different ecoregions: the size of the circle reflects the length of the river, the X-axis corresponds to the percentage change in ecosystem efficiency.

В Турции землепользование в речных долинах регулируется комплексом законодательных актов разного уровня, но ключевая роль принадлежит Водному закону № 831 (тур. «Su Kanunu») и Закону об окружающей среде № 2872 (тур. «Çevre Kanunu»). Эти законы устанавливают общие принципы охраны водных ресурсов, предотвращения загрязнения и устойчивого использования земель. Однако наиболее конкретное регулирование осуществляется через бассейновое планирование, координируемое Генеральным директором государственных гидротехнических работ на основе Планов управления речными бассейнами (тур. «Nehir Havzası Yönetim Planları»). Эти планы,

разрабатываемые для 25 крупных речных бассейнов, должны определять допустимые виды деятельности, зонирование и природоохранные меры в пределах водосборов, включая долины.

Таблица 3. Процент площади долин с увеличением/уменьшением экологической эффективности по экорегионам/топографическим зонам Турции в 1990-2018 гг.

Table 3. Percentage of valley area with increasing/decreasing ecological efficiency by ecoregion/topographic zone in Turkey for 1990-2018.

	Аридные и континентальные регионы	Приморские регионы	Высокогорье, > 1500 м н.у.м. БС	Крутые склоны, > 12°	Сильно расчленённые районы, TRI > 15
Увеличение экологической эффективности, площадь %	41	49	44	60	57
Уменьшение экологической эффективности, площадь %	59	51	56	40	43

Критически важным для сохранения экологических функций долин является статус рипарианских буферных зон. Их выделение и режим охраны регламентируются Положением о защите береговых линий и Законом о почвенной сохранности и землепользовании (№ 5403). Закон № 5403 и связанные подзаконные акты предписывают выделение буферов вдоль водотоков, где ограничиваются или запрещаются определенные виды деятельности (распашка, строительство) для защиты водных ресурсов, предотвращения эрозии и сохранения биоразнообразия. Ширина этих зон варьирует в зависимости от категории водотока и уклона местности, но, как показывают наши результаты и работы E. Akturk с соавторами (2024) и A. Atesoglu с соавторами (2025), даже в пределах формально охраняемых рипарианских зон значительные площади (более 30%) заняты сельхозугодьями, что указывает на проблемы с соблюдением режима и эффективностью контроля. Более того, рипарианские зоны могут быть шириной не более 2500 м, а чаще у крупных рек экспертно выделяются зоны шириной 100 м, и не на всех реках, а только на экспертно выбранных (Akturk et al., 2024). Как показало наше исследование, реально долины, т.е. наиболее функционально зависимые от реки части ландшафта, могут достигать 5000 м – в 2 раза больше официально допустимой максимальной ширины рипарианского буфера в Турции. При этом многие леса и водно-болотные угодья сосредоточены на малых реках и не имеют этого охранного статуса, что частично объясняется противоречиями в официальных стратегических документах. С одной стороны, природоохранное законодательство (Природоохранный закон № 2872, Закон о почвенной сохранности и землепользовании № 5403) и международные обязательства (Рамсарская конвенция, Конвенция о биоразнообразии) требуют сохранения экосистем долин. С другой, Закон о сельском развитии (тур. «Kırsal Kalkınma Kanunu») и политика продовольственной безопасности, реализуемая через Министерство сельского и лесного хозяйства, активно стимулируют сельскохозяйственное освоение, включая орошение в долинах аридных зон, что подтверждается нашими данными о массовом переходе неорошаемых пашен

в орошаемые (Cooper et al., 2013; World Bank Group, 2022). Развитие ирригационной инфраструктуры (каналы, насосные станции) в долинах также часто курируется Генеральным директором государственных гидротехнических работ в рамках крупных проектов развития регионов (например, GAP на юго-востоке), что может вступать в конфликт с целями сохранения рипарианских экосистем. Урбанизация в низовьях долин регулируется Законом о муниципалитетах (тур. «Belediye Kanunu») и Законом о градостроительстве № 3194 (тур. «İmar Kanunu»), но, как показало наше исследование, именно здесь наблюдается колоссальный рост запечатанных поверхностей, усугубляющий риски наводнений и ухудшение качества воды, несмотря на положения о зонах затопления.

Таким образом, существующая законодательная система Турции признает важность речных долин и формально содержит инструменты для их защиты (бассейновое планирование Генеральным директором государственных гидротехнических работ, рипарианские буферы по закону № 5403). Однако ключевая проблема заключается в фрагментированности управления (разные ведомства – Генеральный директорат государственных гидротехнических работ, Министерство сельского хозяйства, Министерство окружающей среды и урбанизации, прочие муниципалитеты), конфликте приоритетов, недостаточной согласованности планов разных уровней и слабом контроле соблюдения природоохранных ограничений, особенно в рипарианских буферных зонах (Göl et al., 2017; Selek B., Selek Z., 2019). Наши результаты, демонстрирующие преобладание негативных изменений экологической эффективности именно в наиболее уязвимых аридных долинах крупных рек, где сосредоточены ГЭС и орошаемые земли, прямо указывают на то, что текущее регулирование недостаточно эффективно для балансировки экономического развития и экологической устойчивости в условиях климатических изменений (UN WWDR, 2024; СМСС, 2022), что также частично подтверждается в работах S. Delirnar с M. Karpuzcu (2017). Необходима более жесткая интеграция оценки экосистемных услуг долин (включая их роль в углеродном секвестрации, регулировании стока и поддержании биоразнообразия) в процедуры планирования землепользования и оценку воздействия на окружающую среду для крупных проектов, а также усиление межведомственной координации и мониторинга соблюдения режима охраны рипарианских буферов на национальном и бассейновом уровнях.

Критически важным для сохранения экологических функций долин является статус речных буферных зон. Их выделение и режим охраны регламентируются Положением о защите береговых линий и Законом о почвенной сохранности и землепользовании. Ширина этих зон варьирует в зависимости от категории водотока и уклона местности, но, как показывают наши результаты и другие работы (Akturk et al., 2024; Atesoglu et al., 2025), даже в пределах формально охраняемых буферов более 30% заняты сельхозугодьями, что указывает на проблемы с соблюдением режима и эффективностью контроля. Рипарианские зоны не могут быть шириной более 2500 м, а на крупных реках чаще экспертно выделяются зоны 100 м. Более того, буферы выделяются не на всех реках, а только на экспертно выбранных (Akturk et al., 2024). Как показало наше исследование, реально долины могут достигать 5000 м – в 2 раза больше официально допустимой максимальной ширины. Многие леса и болота сосредоточены на малых реках и не имеют охранного статуса.

Положительные тенденции на сильно расчленённых участках и участках с крутыми склонами связаны с восстановлением ранее деградировавших в результате выпаса. В приморских регионах малых рек крутые склоны, ранее занятые лугами, зарастают лесами, что связано с восстановлением силво-пасторальных систем в Эгейском и Средиземноморских регионах (Ozcan et al., 2019). Несмотря на исключительную экологическую роль речных долин в аридных регионах, структура и динамика

землепользования, как и степень их освоения во многом остаётся схожей с общими по стране трендами (Ozcan et al., 2019). Данная проблема характерна не только для Турции, но и для ряда других аридных стран Центральной Азии (Han et al., 2022) с высокой ролью сельскохозяйственного сектора, где реки остаются ключевыми источниками энергии и воды, необходимым для хозяйственного роста. Долины рек занимают малую площадь (менее 5% от площади страны), при этом могут поддерживать экологический баланс больших территорий. Тем не менее, более 65% этих ценных участков антропогенно преобразована, а оставшиеся территории либо мало эффективны, либо сокращаются, в т.ч. в результате косвенного антропогенного воздействия и изменения климата.

Ограничения исследования. В данном исследовании мы рассматриваем «современное состояние» по данным за 2018 г. Несмотря на то, что 30-летний период является достаточным временным диапазоном для выявления общих закономерностей изменения как землепользования, так и экологической эффективности долин, более свежие данные сделали бы исследования подобного рода более достоверными и актуальными. Наш выбор Copia Landcover обоснован самым высоким пространственным разрешением среди общедоступных открытых баз данных по землепользованию и широким спектром тематических классов землепользования, что необходимо для подобного рода исследований. Возможно, появление новых баз данных или расширение временного диапазона Copia Landcover позволит в будущем актуализировать и совершенствовать данное исследование.

Определённое ограничение накладывает и наш выбор ЦМР, поскольку для автоматизированного выделения долин вес данных очень большой – один тайл ЦМР Copernicus-30 является квадратом 100×100 км, поэтому склеенная общая ЦМР Турции имеет вес около 10 Гб, отчего исследование становится более затратным по времени и требует мощного оборудования. Дальнейшая автоматизация процесса выделения речных долин, возможно с использованием искусственного интеллекта, сможет упростить этот необходимый для подобного рода исследований этап.

Точное определение индекса экологической эффективности разных типов экосистем и соответствующих им классов землепользования является комплексной и сложной задачей, требующей в т.ч. масштабных полевых исследований или подробных статистических данных для расчёта потенциального, реального и необходимого объёма экосистемных услуг. Подходы к такому роду оценок совершались рядом исследователей (Liang, Song, 2022) для разных территорий, но преимущественно в рамках отдельных региональных исследований. Крупномасштабные исследования для разных экорегионов чаще требуют интегрированных результатов для определения индекса экологической эффективности классов землепользования. В своем исследовании мы предлагаем упрощённую схему расчёта данного индекса на основе сравнения разных классов землепользования по их вкладу в наиболее важные для экорегиона экосистемные услуги на основе существующих работ по оценке экосистемных услуг и для больших и неоднородных по природным условиям территорий. Для более детальной оценки экологической эффективности можно также учитывать большее количество экосистемных услуг. В нашем исследовании мы не стали включать культурные и продовольственные услуги, поскольку их сравнительная оценка по классам землепользования выглядит наиболее затруднительной и нуждающейся в подтверждающих статистических данных. Поскольку нашими территориальными единицами исследования являются долины рек, использовать статистическую информацию по полученным объёмам сельскохозяйственной продукции или рекреационной активности, формируемую по административно-территориальным единицам, представляется невозможным. Также возможно учитывать и другие регулирующие и поддерживающие услуги. Учитывая, что значительную долю долин занимают сельскохозяйственные угодья, оценка экосистемных услуг которых может быть противоречива в силу того, что эти системы

поддерживаются человеком, мы ограничились теми услугами, ранжирование по которым для наших классов землепользования вызывает меньше противоречий. Также для получения более детальных результатов можно учитывать для подобного рода исследований степень антропогенной нагрузки на разных участках одного и того же класса землепользования, что особенно актуально для сельскохозяйственных земель.

Выводы

Несмотря на то, что речные долины занимают совсем небольшую площадь страны, около 5%, и при этом выполняют исключительные экологические функции в условиях нарастающего водного стресса и климатических изменений в аридных регионах Турции, антропогенной трансформации подвергается более 65% площади речных долин страны. При этом наибольшим изменениям с отрицательным переходом эффективности подвергаются ее наиболее уязвимые континентальные регионы.

Основными трендами стали массовый переход неорошаемых пашен в орошаемые (16% всех изменений), особенно в аридных регионах; рост запечатанных поверхностей в низовьях приморских рек, усугубляющий риски наводнений; увеличение площадей садов в прибрежных зонах. Несмотря на формальное регулирование, наибольшая трансформация наблюдается именно в наиболее ценных и уязвимых долинах аридных регионов, что приводит к снижению их экологической эффективности на 30% и более, главным образом из-за замены естественных экосистем и неорошаемых пашен на менее эффективные классы землепользования. Пространственная дифференциация показывает уязвимость высокогорных и континентальных долин, где преобладают отрицательные переходы эффективности. Положительные изменения были локальными и характерны преимущественно для приморских регионов и участков с крутыми склонами или сильной расчлененностью рельефа, что позволяет предполагать, что стокорегулирующая функция речных долин будет выше по сравнению со средообразующей и поддерживающей. Существующая законодательная база, включая планы управления бассейнами и буферные зоны, формально признает важность долин, но страдает от фрагментации, конфликтов интересов между природоохранными и экономическими приоритетами, а также слабого контроля, что позволяет сельскохозяйственному освоению занимать свыше 30% охраняемых территорий.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках реализации госзадания Кафедры физической географии мира и геоэкологии Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- | | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Akbulut N.E., Bayarı S., Akbulut A., Özyurt N.N., Sahin Y. 2022. Ch. 21: Rivers of Turkey // Rivers of Europe. 2nd ed. Elsevier Ltd. P. 853-882. 2. Akturk E., Guney K., Aydin M., Yildiz F., Kaya O. 2024. Land Cover Dynamics and Environmental Implications in Türkiye's Riparian Zones: a Comprehensive Seven-Year Study // Forests. Vol. 15. No. 7. P. 1177. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Akbulut NE, Bayarı S, Akbulut A, Özyurt NN, Sahin Y. Ch. 21: Rivers of Turkey. Rivers of Europe. 2nd ed. Elsevier Ltd., 2022:853-882. 2. Akturk E, Guney K, Aydin M, Yildiz F, Kaya O. Land Cover Dynamics and Environmental Implications in Türkiye's Riparian Zones: a Comprehensive Seven-Year Study. <i>Forests</i>. 2024;15 (7):1177. 3. Atesoglu A, Bulut FS, Ozel HB, Zeren |
|--|--|

3. Atesoglu A., Bulut F.S., Ozel H.B., Zeren Cetin I. 2025. Large-scale Earth Observation and Monitoring of Riparian Zone Land-cover Changes in Türkiye // *International Journal of Environmental Science and Technology*. P. 1-16.
4. Azgin S.T., Celik F.D. 2020. Evaluating Surface Runoff Responses to Land Use Changes in a Data Scarce Basin: A Case Study in Palas Basin, Turkey // *Water Resources*. Vol. 47. No. 5. P. 828-834.
5. Bukvareva E., Grunewald K., Klimanova O., Kolbovsky E., Shcherbakov A., Sviridova T., Zamolodchikov D. 2021. TEEB-Russia: Towards National Ecosystem Accounting // *Sustainability*. Vol. 13. No. 12. P. 6678.
6. Çerçi B., Koçak Ö., Tezcan S. 2024. Review of the Heteroptera (Hemiptera) Fauna of Turkey: Perspectives for Future Research // *European Journal of Taxonomy*. Vol. 937. P. 1-127.
7. Clubb F.J., Weir E.F., Mudd S.M. 2022. Continuous Measurements of Valley Floor Width in Mountainous Landscapes // *Earth Surface Dynamics*. Vol. 10. No. 3. P. 437-456.
8. CMCC. 2022. G20 Climate Risk Atlas: Turkey. 23 p. [Электронный ресурс <https://files.cmcc.it/g20climaterisks/Turkey.pdf> (дата обращения 01.05.2025)].
9. Çomaklı E., Özgül M., Aydın H. 2025. Assessment of Soil Carbon Stock in Different Land Use Types of Eastern Türkiye // *SilvaWorld*. Vol. 4. No. 1. P. 1-14.
10. Cooper S.D., Lake P.S., Sabater S., Melack J.M., Sabo J.L. 2013. The Effects of Land Use Changes on Streams and Rivers in Mediterranean Climates // *Hydrobiologia*. Vol. 719. P. 383-425.
11. Demir T., Yeşilnacar İ., Westaway R. 2004. River Terrace Sequences in Turkey: Sources of Evidence for Lateral Variations in Regional Uplift // *Proceedings of the Geologists' Association*. Vol. 115. No. 4. P. 289-311.
12. Delipinar Ş., Karpuzcu M. 2017. Policy, Legislative and Institutional Assessments for Integrated River Basin Management in Turkey // *Environmental Science & Policy*. 2017;72:20-29.
13. Dervisoglu A. Analysis of the Temporal Changes of Inland Ramsar Sites in Cetin I. Large-scale Earth Observation and Monitoring of Riparian Zone Land-cover Changes in Türkiye. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2025:1-16.
4. Azgin ST, Celik FD. Evaluating Surface Runoff Responses to Land Use Changes in a Data Scarce Basin: A Case Study in Palas Basin, Turkey. *Water Resources*. 2020;47 (5):828-834.
5. Bukvareva E, Grunewald K, Klimanova O, Kolbovsky E, Shcherbakov A, Sviridova T, Zamolodchikov D. TEEB-Russia: Towards National Ecosystem Accounting. *Sustainability*. 2021;13 (12):6678.
6. Çerçi B, Koçak Ö, Tezcan S. Review of the Heteroptera (Hemiptera) Fauna of Turkey: Perspectives for Future Research. *European Journal of Taxonomy*. 2024;937:1-127.
7. Clubb FJ, Weir EF, Mudd SM. Continuous Measurements of Valley Floor Width in Mountainous Landscapes. *Earth Surface Dynamics*. 2022;10 (3):437-456.
8. CMCC. G20 Climate Risk Atlas: Turkey. 2022;23, Available at <https://files.cmcc.it/g20climaterisks/Turkey.pdf> (Date of Access 01/05/2025).
9. Çomaklı E, Özgül M, Aydın H. Assessment of Soil Carbon Stock in Different Land Use Types of Eastern Türkiye. *SilvaWorld*. 2025;4 (1):1-14.
10. Cooper SD, Lake PS, Sabater S, Melack JM, Sabo JL. The Effects of Land Use Changes on Streams and Rivers in Mediterranean Climates. *Hydrobiologia*. 2013;719:383-425.
11. Demir T, Yeşilnacar İ, Westaway R. River Terrace Sequences in Turkey: Sources of Evidence for Lateral Variations in Regional Uplift. *Proc. of the Geologists' Association*. 2004;115 (4):289-311.
12. Delipinar Ş, Karpuzcu M. Policy, Legislative and Institutional Assessments for Integrated River Basin Management in Turkey. *Environmental Science & Policy*. 2017;72:20-29.
13. Dervisoglu A. Analysis of the Temporal Changes of Inland Ramsar Sites in

- Vol. 72. P. 20-29.
13. *Dervisoglu A.* 2021. Analysis of the Temporal Changes of Inland Ramsar Sites in Turkey Using Google Earth Engine // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. Vol. 10. No. 8. P. 521.
 14. *Doğan U.* 2011. Climate-controlled River Terrace Formation in the Kızılırmak Valley, Cappadocia Section, Turkey: Inferred from Ar–Ar Dating of Quaternary Basalts and Terraces Stratigraphy // *Geomorphology*. Vol. 126. No. 1-2. P. 66-81.
 15. *Ediş S., Akgül S., Uslu A., Yılmaz H.* 2023. Assessing the Impact of Engineering Measures and Vegetation Restoration on Soil Erosion: a Case Study in Osmancık, Türkiye // *Sustainability*. Vol. 15. No. 15. P. 12001.
 16. *Ergüner Y., Kumar J., Hoffman F.M., Dalfes H.N., Hargrove W.W.* 2019. Mapping Ecoregions under Climate Change: a Case Study from the Biological ‘Crossroads’ of Three Continents, Turkey // *Landscape Ecology*. Vol. 34. P. 35-50.
 17. *Ersoy Tonyaloğlu E.* 2025. Future Land Use/Land Cover and Its Impacts on Ecosystem Services: Case of Aydın, Turkey // *International Journal of Environmental Science and Technology*. V. 22. No. 6. P. 4601-4617.
 18. *Giovanis E., Ozdamar O.* 2025. The Transboundary Effects of Climate Change and Global Adaptation: the Case of the Euphrates–Tigris Water Basin in Turkey and Iraq // *Empirical Economics*. Vol. 68. No. 4. P. 1935-1972.
 19. *Göl C., Ediş S., Yılmaz H.* 2017. Legal and Administrative Problems in Watershed Management in Turkey: Case of Tatlıçay Watershed // *Environmental Engineering & Management Journal*. Vol. 16. No. 12. P. 2685-2698.
 20. *Han S., Xin P., Li H., Yang Y.* 2022. Evolution of Agricultural Development and Land-Water-Food Nexus in Central Asia // *Agricultural Water Management*. Vol. 273. P. 107874.
 21. *Illarionova O., Klimanova O.* 2024. River Zones as a Tool for Increasing the Urban Sustainability in Large Cities of Russia. E3S Web of Conferences. Turkey Using Google Earth Engine. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2021;10 (8):521.
 14. *Doğan U.* Climate-controlled River Terrace Formation in the Kızılırmak Valley, Cappadocia Section, Turkey: Inferred from Ar–Ar Dating of Quaternary Basalts and Terraces Stratigraphy. *Geomorphology*. 2011;126 (1-2):66-81.
 15. *Ediş S., Akgül S., Uslu A., Yılmaz H.* Assessing the Impact of Engineering Measures and Vegetation Restoration on Soil Erosion: A Case Study in Osmancık, Türkiye. *Sustainability*. 2023;15 (15):12001.
 16. *Ergüner Y., Kumar J., Hoffman FM, Dalfes HN, Hargrove WW.* Mapping Ecoregions under Climate Change: a Case Study from the Biological ‘Crossroads’ of Three Continents, Turkey. *Landscape Ecology*. 2019;34:35-50.
 17. *Ersoy Tonyaloğlu E.* Future Land Use/Land Cover and Its Impacts on Ecosystem Services: Case of Aydın, Turkey. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2025;22 (6):4601-4617.
 18. *Giovanis E., Ozdamar O.* The Transboundary Effects of Climate Change and Global Adaptation: the Case of the Euphrates–Tigris Water Basin in Turkey and Iraq. *Empirical Economics*. 2025;68 (4):1935-1972.
 19. *Göl C, Ediş S, Yılmaz H.* Legal and Administrative Problems in Watershed Management in Turkey: Case of Tatlıçay Watershed. *Environmental Engineering & Management Journal*. 2017;16 (12):2685-2698.
 20. *Han S, Xin P, Li H, Yang Y.* Evolution of Agricultural Development and Land-Water-Food Nexus in Central Asia. *Agricultural Water Management*. 2022;273:107874.
 21. *Illarionova O, Klimanova O.* River Zones as a Tool for Increasing the Urban Sustainability in Large Cities of Russia. E3S Web of Conferences.

- Sustainability in Large Cities of Russia // E3S Web of Conferences. Vol. 555. P. 04003.
22. Karabulut A.İ., Karabulut B.Y., Yetis A.D., Yesilnacar M.I., Derin P. 2023. Socioeconomic Driving Forces of Land Use/Cover Changes in the Semi-Arid Harran Plain and Their Probable Implications on Arising Groundwater Level, the GAP Area of Southeastern Türkiye // *Acta Geophysica*. Vol. 71. No. 6. P. 2795-2810.
 23. Karahalil U., Başkent E. Z., Bulut S. 2018. The Effects of Land Cover Changes on Forest Carbon Storage in 40 Years: a Case Study in Turkey // *International Journal of Global Warming*. Vol. 14. No. 2. P. 207-223.
 24. Koc A., Schacht W.H., Erkovan H.I. 2015. The History and Current Direction of Rangeland Management in Turkey // *Rangelands*. Vol. 37. No. 1. P. 39-46.
 25. Külahlıoğlu M., Erdoğan M.A., Şimşek U., Kaya Ö. 2025. Assessing Land Degradation Dynamics in the Büyük Menderes River Basin: a Comprehensive Spatial Modelling Approach // *Natural Hazards*. P. 1-23.
 26. Kuzucuoğlu C., Çiner A., Kazancı N. 2019. *Landscapes and Landforms of Turkey*. Cham: Springer. 635 p.
 27. Liang Y., Song W. 2022. Integrating Potential Ecosystem Services Losses into Ecological Risk Assessment of Land Use Changes: A Case Study on the Qinghai-Tibet Plateau // *Journal of Environmental Management*. Vol. 318. P. 115607.
 28. Maes J., Teller A., Erhard M., Liqueste C., Braat L., et al. 2013. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services // *An Analytical Framework for Ecosystem Assessments under Action*. Vol. 5. P. 1-58
 29. Onur A.C., Tezer A. 2015. Ecosystem Services Based Spatial Planning Decision Making for Adaptation to Climate Changes // *Habitat International*. Vol. 47. P. 267-278.
 30. Ozcan O., Aksu G.A., Erten E., Musaoglu N., Cetin M. 2019. Degradation Monitoring in Silvo-Pastoral Systems: A Case Study of the Mediterranean Region of Turkey // *Advances in Space Research*. Vol. 63. No. 1. 2024;555:04003.
 22. Karabulut Aİ, Karabulut BY, Yetis AD, Yesilnacar MI, Derin P. Socioeconomic Driving Forces of Land Use/Cover Changes in the Semi-Arid Harran Plain and Their Probable Implications on Arising Groundwater Level, the GAP Area of Southeastern Türkiye. *Acta Geophysica*. 2023;71 (6): 2795-2810.
 23. Karahalil U, Başkent E Z, Bulut S. The Effects of Land Cover Changes on Forest Carbon Storage in 40 Years: a Case Study in Turkey. *International Journal of Global Warming*. 2018;14 (2):207-223.
 24. Koc A, Schacht WH, Erkovan HI. The History and Current Direction of Rangeland Management in Turkey. *Rangelands*. 2015;37 (1):39-46.
 25. Külahlıoğlu M, Erdoğan MA, Şimşek U, Kaya Ö. Assessing Land Degradation Dynamics in the Büyük Menderes River Basin: a Comprehensive Spatial Modelling Approach. *Natural Hazards*. 2025:1-23.
 26. Kuzucuoğlu C, Çiner A, Kazancı N. *Landscapes and Landforms of Turkey*. Cham: Springer, 2019:635.
 27. Liang Y, Song W. Integrating Potential Ecosystem Services Losses into Ecological Risk Assessment of Land Use Changes: A Case Study on the Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Environmental Management*. 2022;318:115607.
 28. Maes J, Teller A, Erhard M, Liqueste C, Braat L, et al. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. *An Analytical Framework for Ecosystem Assessments under Action*. 2013;5:1-58
 29. Onur AC, Tezer A. Ecosystem Services Based Spatial Planning Decision Making for Adaptation to Climate Changes. *Habitat International*. 2015;47:267-278.
 30. Ozcan O, Aksu GA, Erten E, Musaoglu N, Cetin M. Degradation Monitoring in Silvo-Pastoral Systems: A Case Study of the Mediterranean Region of Turkey. *Advances in Space Research*. 2019;63 (1):160-171.
 31. Ozdemir H, Akbas A. Is There a Consistency in Basin Morphometry and

- P. 160-171.
31. Özdemir H., Akbas A. 2023. Is There a Consistency in Basin Morphometry and Hydrodynamic Modelling Results in Terms of the Flood Generation Potential of Basins? A Case Study from the Ulus River Basin (Türkiye) // *Journal of Hydrology*. Vol. 625. P. 129926.
 32. Özgenç E.K., Uzun O. 2024. Impacts of Land Use/Land Cover and Climate Change on Landscape Sensitivity in Tunca River Sub-Basin: Use in Spatial Planning and Sectoral Decision Processes // *Journal of Environmental Management*. Vol. 363. P. 121372.
 33. Özşahin E., Uygur V. 2014. The Effects of Land Use and Land Cover Changes (LULCC) in Kuseyr Plateau of Turkey on Erosion // *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. Vol. 38. No. 4. P. 478-487.
 34. Pusatli O.T., Camur M.Z., Yazicigil H. 2009. Susceptibility Indexing Method for Irrigation Water Management Planning: Applications to K. Menderes River Basin, Turkey // *Journal of Environmental Management*. Vol. 90. No. 1. P. 341-347.
 35. Sakal H.B. 2022. The Risks of Hydro-Hegemony: Turkey's Environmental Policies and Shared Water Resources in the South Caucasus // *Caucasus Survey*. Vol. 10. No. 3. P. 294-323.
 36. Selek B., Selek Z. 2019. River Basin Management // *Water Resources of Turkey*. Cham: Springer International Publishing. P. 445-465.
 37. Selim S., Demir N., Kara B. 2024. Potential Flood Risk Scenario and Its Effects on Landscape Composition Using Hydraulic Modeling (HEC-RAS) in Boğaçay Sub-Basin/Türkiye // *Applied Sciences*. Vol. 15. No. 1. P. 219.
 38. Straumann R.K., Purves R.S. 2008. Delineation of Valleys and Valley Floors // *Geographic Information Science: 5th International Conference, GIScience 2008*, Park City, UT, USA, September 23-26, 2008. Proceedings 5. Berlin, Heidelberg: Springer. P. 320-336.
 39. United Nations. 2024. The World Water Hydrodynamic Modelling Results in Terms of the Flood Generation Potential of Basins? A Case Study from the Ulus River Basin (Türkiye). *Journal of Hydrology*. 2023;625:129926.
 40. Özgenç EK, Uzun O. Impacts of Land Use/Land Cover and Climate Change on Landscape Sensitivity in Tunca River Sub-Basin: Use in Spatial Planning and Sectoral Decision Processes. *Journal of Environmental Management*. 2024;363:121372.
 41. Özşahin E, Uygur V. The Effects of Land Use and Land Cover Changes (LULCC) in Kuseyr Plateau of Turkey on Erosion. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2014;38 (4):478-487.
 42. Pusatli OT, Camur MZ, Yazicigil H. Susceptibility Indexing Method for Irrigation Water Management Planning: Applications to K. Menderes River Basin, Turkey. *Journal of Environmental Management*. 2009;90 (1):341-347.
 43. Sakal HB. The Risks of Hydro-Hegemony: Turkey's Environmental Policies and Shared Water Resources in the South Caucasus. *Caucasus Survey*. 2022;10 (3):294-323.
 44. Selek B, Selek Z. River Basin Management. *Water Resources of Turkey*. Cham: Springer International Publishing, 2019:445-465.
 45. Selim S, Demir N, Kara B. Potential Flood Risk Scenario and Its Effects on Landscape Composition Using Hydraulic Modeling (HEC-RAS) in Boğaçay Sub-Basin/Türkiye. *Applied Sciences*. 2024;15 (1):219.
 46. Straumann RK, Purves RS. Delineation of Valleys and Valley Floors. *Geographic Information Science: 5th International Conference, GIScience 2008*, Park City, UT, USA, September 23-26, 2008. Proc. 5. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008:320-336.
 47. United Nations. The World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace. Paris: UNESCO, 2024:197.

- Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace. Paris: UNESCO. 197 p.
40. Üstün Odabaşı S., Ceylan Z. 2023. Water Quality and Health Risk Assessment of Potentially Toxic Elements in Water of Samsun Rivers of the Mid-Black Sea, Turkey // *Environmental Earth Sciences*. Vol. 82. No. 21. P. 501.
41. Wang J., Ma Z., Wang Z., Huang X., Hou Q., Cao Y., Wang W. 2023. Evolution of the Landscape Ecological Pattern in Arid Riparian Zones Based on the Perspective of Watershed River-Groundwater Transformation // *Journal of Hydrology*. Vol. 625. P. 130119.
42. World Bank Group. 2022. Turkey CCDR (Country Climate and Development Report): Background Note 5 – GHG Mitigation Options in the Forestry/LULUCF Sector. 37 p.
43. Yavuz V.S., Kartal V., Sambito M. 2024. Comparative Analysis of Water Quality in Major Rivers of Türkiye Using Hydrochemical and Pollution Indices // *Water*. Vol. 16. No. 18. P. 2676.
44. Yuan Y., Bai Z., Zhang J., Huang Y. 2023. Investigating the Trade-Offs between the Supply and Demand for Ecosystem Services for Regional Spatial Management // *Journal of Environmental Management*. Vol. 325. P. 116591.
40. Üstün Odabaşı S., Ceylan Z. Water Quality and Health Risk Assessment of Potentially Toxic Elements in Water of Samsun Rivers of the Mid-Black Sea, Turkey. *Environmental Earth Sciences*. 2023;82 (21):501.
41. Wang J, Ma Z, Wang Z, Huang X, Hou Q, Cao Y, Wang W. Evolution of the Landscape Ecological Pattern in Arid Riparian Zones Based on the Perspective of Watershed River-Groundwater Transformation. *Journal of Hydrology*. 2023;625:130119.
42. World Bank Group. Turkey CCDR (Country Climate and Development Report): Background Note 5 – GHG Mitigation Options in the Forestry/LULUCF Sector. 2022:37.
43. Yavuz VS, Kartal V, Sambito M. Comparative Analysis of Water Quality in Major Rivers of Türkiye Using Hydrochemical and Pollution Indices. *Water*. 2024;16 (18):2676.
44. Yuan Y, Bai Z, Zhang J, Huang Y. Investigating the Trade-Offs between the Supply and Demand for Ecosystem Services for Regional Spatial Management. *Journal of Environmental Management*. 2023;325:116591.

UDC 911.3:504.06

LAND USE TRANSFORMATION AND ECOLOGICAL EFFICIENCY OF VALLEY ECOSYSTEMS IN TURKEY

© 2026. O.A. Illarionova, A.M. Makogonova

Lomonosov Moscow State University

1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia. E-mail: heatherpaw95@gmail.com

Received February 27, 2026. Revised March 01, 2026. Accepted March 01, 2026.

River valleys in Turkey, while occupying less than 5% of its territory, play a key role in maintaining the ecological balance of arid regions (over 60% of the country). This study assesses land use transformation and its impact on the ecological functioning of 63 river valleys in Turkey from 1990 to 2018. An Ecological Performance Index was developed using valley identification using Copernicus GLO-30 DEM and analysis of Corine Land Cover data. The results show that 65% of the valley area is developed for economic use, with up to 40% occupied by irrigated croplands. The main

change is the transition from non-irrigated to irrigated lands (16% of the converted area), accompanied by a tenfold increase in sealed surfaces. It is noted that the ecological efficiency of valleys declines precisely in those regions where their ecosystem services are most needed.

Keywords: ecological efficiency of land use, river valley identification, ecosystem services, climate change adaptation, ecosystem transformation, valleys in arid regions.

DOI: 10.24412/2542-2006-2026-1-134-154

EDN: WNHCRW