



## Аналитический обзор оценки секвестрирования углерода лесными насаждениями Казахстана

Борисова Ю.С. 

Казахстанско-Немецкий университет, пр. Назарбаева, 173, Алматы, 050010, Казахстан

### ABSTRACT

Процессы изменения климата происходят в глобальном масштабе и сопровождаются выбросами в атмосферу значительных количеств парниковых газов, преобладающими из которых являются оксид углерода и диоксид углерода. В аналитическом обзоре представлены результаты состояния изученности и оценки существующих исследований по секвестрированию углерода лесными насаждениями. Леса играют ключевую роль в изменении климата, поглощая большое количество углекислого газа из атмосферы. Они являются наиболее важным наземным поглотителем углерода. Два ключевых показателя: биомасса и продуктивность лесов определяют уровень накопления углерода в экосистеме. Методы оценки секвестрирования углерода лесными насаждениями включают использование различных моделей, таких как InVEST, CO2FIX, CBM-CFS3 и других. Выяснено, что леса накапливают, поглощают и выделяют углекислый газ - в этом и заключается их тройственная роль в изменении климата. В связи с тем, что секвестрирование углерода лесными экосистемами в Казахстане мало изучено, возникает необходимость проведения дальнейших научных исследований по этому направлению. Развитие лесоразведения и коммерческого лесовыращивания является основной рекомендацией по повышению потенциала секвестрирования углерода лесами. Развитие этих отраслей будет способствовать повышению эффективности и обеспечению устойчивого развития лесных ресурсов в контексте адаптации к изменению климата.

Подана в редакцию:  
24 июля 2023

Принята к публикации:  
15 октября 2023

Доступ онлайн:  
3 ноября 2023

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

изменение климата,  
секвестрирование  
углерода, лесные  
насаждения

Для корреспонденции: Борисова Ю.С. ✉ [borissova@dku.kz](mailto:borissova@dku.kz) Казахстанско-Немецкий университет, пр. Назарбаева, 173, Алматы, 050010, Казахстан

## 1. Введение

Процессы изменения климата происходят по всему миру и сопровождаются выбросами в атмосферу большого количества парниковых газов, основными из которых являются оксид и диоксид углерода. Концентрация углекислого газа (CO<sub>2</sub>) в атмосфере является результатом круговорота между различными резервуарами углерода, так как CO<sub>2</sub> является продуктом окисления углерода из этих резервуаров (Karsenty et al., 2003). Были проведены исследования по изучению влияния углекислого газа на изменение климата, а также на разные экосистемы и сферы экономики (Невежин, Шуварики, 2022; Шам, 2003).

Леса играют важную роль в изменении климата. Они являются наиболее важным наземным поглотителем углерода, при этом их биомасса и продуктивность влияют на уровень накопления углерода в экосистеме (Chang et al., 2017). Однако леса вносят свой вклад и в выбросы углерода при разрушении или деградации и страдают от изменения климата, засухи и экстремальных погодных условий. При устойчивом управлении они могут оказывать уникальную экологическую услугу, удаляя из атмосферы избыток углерода и сохраняя его в биомассе, почве и древесных изделиях (Karsenty et al., 2003). Поэтому лесоразведение и лесовосстановление, как источники связывания углерода, являются одним из направлений по смягчению последствий изменения климата.

В текущей ситуации актуальность приобретают исследования, направленные на оценку секвестирования углерода, изменений в хранении углерода и потенциала секвестирования углерода в лесах (Huang et al., 2020). В данном исследовании будет проведен анализ имеющихся данных по изученности секвестирования углекислого газа лесными насаждениями в мире и в Казахстане, дана критическая оценка проведенных исследований и опубликованных работ.

## 2. Роль лесов в секвестировании углерода

Как известно, секвестирование углерода происходит как естественным образом (поглотителями углерода), так и в результате антропогенной деятельности (например, в процессе улавливания и хранения углерода) (Проект WECOP, n.d.). Лесные насаждения являются естественными поглотителями углерода, важным резервуаром углерода, который постоянно обменивается CO<sub>2</sub> с атмосферой, как в результате естественных процессов, так и в результате деятельности человека. Процесс фотосинтеза объясняет, почему леса функционируют как поглотители CO<sub>2</sub>, удаляя его из атмосферы. Атмосферный CO<sub>2</sub> фиксируется в хлорофилловых частях растения, а углерод интегрируется в сложные органические молекулы, которые затем используются всем растением.

По мнению некоторых ученых (FAO, 2003) и на основании данных нескольких биоклиматических моделей поглощающая способность лесных экосистем в мире приближается к своему верхнему пределу и должна уменьшиться в будущем, возможно, даже изменив направление в течение 50-150 лет. Глобальное потепление может привести к усилению гетеротрофного дыхания и разложению органического вещества, и одновременному снижению эффективности этих поглотителей, тем самым превратив лесные экосистемы в источник CO<sub>2</sub> (FAO, 2003, Rohatyn et al., 2022). Также увеличение лесного покрова в больших масштабах может увеличить доступность воды до 6% в некоторых регионах и снизить ее до 38% в других (Hoek van Dijke et al., 2022). Поэтому необходимо предпринимать меры по повышению способности лесов улавливать и хранить CO<sub>2</sub>, это явление и получило название «секвестирование углерода» (Проект WECOOOP).

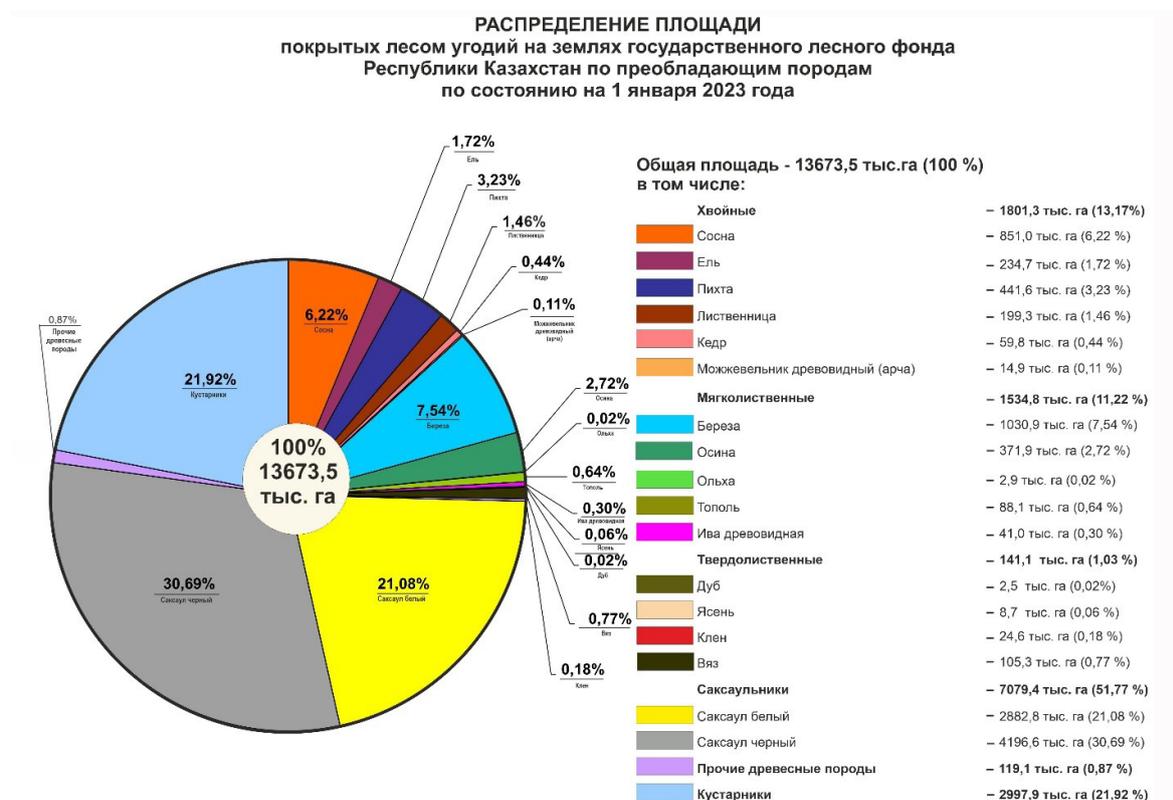
В других исследованиях (Coomes et al., 2012) подчеркивается критическая роль природных катаклизмов (штормы, снежные бури, землетрясения и нападения короедов) в управлении потоками углерода в лесах. Потери биомассы в результате гибели деревьев (особенно в старых насаждениях) превышают годовые приросты на протяжении большей части 30-летнего исследования, перемещая по 0,3 мегатонны углерода с 1 га за 1 год из биомассы в детрит и атмосферные бассейны. Во многих лесах по всему миру происходят крупномасштабные катаклизмы, и эти события, вероятно, станут движущим фактором, определяющим характер секвестирования углерода в лесах в следующем столетии. Однако по мнению автора и других ученых (Poro-Ola et al., 2012), степень вырубок и деградация лесов в результате антропогенной деятельности оказывает более сильное влияние на уничтожение лесов, чем природные катаклизмы.

Таким образом, участие лесов в изменении климата носит тройной характер: это углеродные пулы, которые накапливают CO<sub>2</sub>; они становятся источниками CO<sub>2</sub> при пожарах, или, вообще, когда они нарушены природными или человеческими действиями; они являются поглотителями CO<sub>2</sub>, когда наращивают биомассу или расширяют свою площадь. Это означает, что леса накапливают, поглощают и выделяют углекислый газ, в этом и заключается их тройственность в изменении климата. Изделия из древесины также рассматриваются как резервуары для сохранения углерода (Zhao et al., 2022). В данном обзоре леса рассматриваются именно как поглотители углекислого газа, что является наиболее общепринятым понятием (FAO, 2003; Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов за 1990-2019 гг., 2021; Касторнова и др., 2022).

Для всех лесов Казахстана характерно неравномерное территориальное распределение и изреженность. Основные площади высокопродуктивных хвойных и лиственных лесов сосредоточены в местах, относительно обеспеченных влагой

- это лесостепные и степные равнинные ландшафты на севере и северо-востоке и горные ландшафты хребтов Алтая и Жонгар Алатау на востоке, Заилийского Алатау на юго-востоке и Тянь-Шаня на юго-западе.

В пустынной зоне в древних дельтах больших рек Иле, Каратал, Сырдарья, Шу и на обширных песчаных массивах распространены саксауловые леса, а в современных долинах рек встречаются пойменные и тугайные. Саксауловые леса составляют 51,77% от общей территории лесов Казахстана (рис. 1). Эти насаждения обладают высокой экологической ценностью, защищая почвы от эрозии. Кустарники распространены практически во всех природных зонах наряду с древесной и травянистой растительностью (Межгосударственная комиссия по устойчивому развитию, 2014).



**Рис. 1.** Распределение площади покрытых лесом угодий на землях государственного лесного фонда Республики Казахстан по преобладающим породам по состоянию на 1 января 2023 года (Комитет лесного хозяйства и животного мира, 2022)

На 2021 год площадь лесных ресурсов Республики Казахстан составляет 30,1 млн. га лесов, на 2022 год - 30, 552 млн.га. При этом общая площадь лесного фонда составляет 11,2% от общей территории страны, а площадь покрытых лесом земель - 13 673,3 тыс. га, то есть лесистость республики равна 5% (Комитет лесного хозяйства и животного мира, 2022).

### 3. Методика оценки секвестрирования углерода лесными насаждениями

В исследованиях для оценки потенциала секвестрирования углерода лесными насаждениями используются разные методы и модели.

В лесных плантациях суги (японский кедр) для расчета потенциала связывания углерода использовались показатели общей биомассы, биомассы ствола и биомассы побегов (Chang et al., 2017).

На основе изменения общего содержания углерода в двух разных сценариях с использованием цепи Маркова и модели InVEST секвестрация оценивалась для 2000 и 2018 годов и прогнозируется на 2035 год (Babbar et al., 2020).

Шведские ученые разработали модель, которая состоит из оптимизирующего стендового симулятора, а решение находится с помощью линейного программирования. Связывание углерода учитывалось с точки зрения цены на углерод, а его стоимость рассчитывалась как функция цены на углерод и чистого накопления углерода в лесу. (Baskéus et al., 2005).

Модели, разработанные учеными из Австралии, можно использовать для оценки продуктивности и общего связывания углерода (то есть надземной и подземной биомассы) при непрерывном диапазоне схем посадки (например, различные пропорции деревьев и кустарников или плотность растений), временных рамок и будущих климатических сценариев. Репрезентативные пространственные модели (разрешение 1 га) для 3 планов лесовосстановления (лесных участков, типичных экологических насаждений, биоразнообразных экологических насаждений) × 3 периода времени (т. е. 25, 45, 65 лет) × 4 возможных климатических режима (без изменений, мягкий, умеренный, сильное потепление и осушение) были созданы (36 сценариев) для использования в инструментах планирования землепользования (Hobbs et al., 2016).

Учеными из Индии для оценки улавливания углерода были разработаны четыре аллометрические модели с использованием уравнений линейной регрессии между биомассой (удвоенный запас углерода) и диаметром, обхватом и высотой дерева в разном возрасте. Модель диаметра оказалась более подходящей для прогнозирования запасов углерода в аналогичных районах (Jha, 2015). В других исследованиях для оценки способности связывать углерод деревьями использовалась модель динамического роста CO2FIX (Kaul et al., 2010).

В Казахстане антропогенные эмиссии / поглощения парниковых газов оценивались на национальном уровне, в соответствии с Руководящими принципами национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006,

Том 4, Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования (Межгосударственная комиссия по устойчивому развитию, 2014; Стратегия, 2023).

В соответствии с Обновленным национальным вкладом Республики Казахстан в глобальные меры реагирования на изменение климата (2023) программное обеспечение CBM-CFS3 применялось для определения смягчения последствий изменения климата посредством лесовосстановления и облесения по трем различным сценариям до 2030. Также модель CBM-CFS3, полностью адаптированная к условиям Казахстана, использовалась для моделирования облесения 1 га равнинной земли и поглощения выбросов парниковых газов (Жумабаев и др., 2022).

#### **4. Результаты изучения секвестрирования углерода лесными насаждениями**

##### *4.1 Результаты изучения секвестрирования в глобальных лесных экосистемах*

Учеными был изучен потенциал секвестрирования пойменных лесов реки Тарым в Китае (Aishan et al., 2018), пойменных лесов в Латвии (Saklaurs et al., 2022), мангровых лесов в Индонезии (Analuddin et al., 2020), в плантациях тополя в Северной Индии (Aroga, Chaudhry, 2015) и в других.

На уровень накопления углерода в лесных экосистемах влияют их биомасса и продуктивность, и потенциальное количество углерода в лесу определяется количеством биомассы. Поэтому количественная оценка биомассы необходима в качестве первичных данных инвентаризации для понимания изменений пула углерода и продуктивности лесов (Sharma et al., 2017).

Биомасса лесов, а соответственно и секвестрационная способность снижается из-за вырубок лесной растительности (Babbar et al., 2020). В результате расчетов выяснили, что определение накопления углерода в денежном выражении и удаление углерода в лесных товарах в качестве затрат увеличивает секвестрацию углерода в лесу и снижает уровень лесозаготовок (Bacskéus et al., 2005).

Существующие в настоящее время леса хранят около 45% органического углерода в своей биомассе и почве. По сравнению с искусственными лесными насаждениями естественные лесные насаждения содержат больше углерода из-за сложной структуры насаждений и накопления углерода под землей и в лесной подстилке (Waring et al., 2020). Выяснено, что леса в национальных парках содержат на 40% больше биомассы по сравнению с управляемыми лесами без учета заготовки леса (Krug, 2019). Однако другие ученые утверждают, что лесные плантации во временном промежутке 100 лет показывают гораздо

большие скорости поглощения углекислого газа (Braakhekke et.al., 2019). Из-за большого возраста насаждений на природоохранных территориях роль естественных лесов как поглотителей CO<sub>2</sub> значительно выше по сравнению с коммерческими лесами. Накопление углерода в старовозрастных естественных лесах близко к нулю, но они по-прежнему выполняют роль резервуара углерода (Adermann et al., 2015). При этом молодые и средневозрастные насаждения поглощают больше углерода, который необходим для их роста и развития. В некоторых исследованиях делаются выводы, что основные запасы биомассы содержатся в стволовой древесине (Saklaurs et al., 2022). А так как большим диаметром и объемом ствола обладают именно старовозрастные насаждения, поэтому они и являются лучшим резервуаром хранения углерода. Таким образом, молодые и средневозрастные леса обладают большей скоростью улавливания, а старовозрастные могут быть использованы для хранения углерода.

#### *4.2 Результаты изучения секвестирования в лесах Казахстана*

В Республике Казахстан потенциал секвестирования углерода лесами мало изучен. Учеными Казахстана были разработаны базы данных по распределению органического углерода и его годичного депонирования лесами для разных областей и основных лесообразующих пород (Баранов, Боранбай, 2014). Согласно их исследованиям, различные виды пород потребляют разное количество углерода в зависимости от возраста и запаса на 1 га.

В результате исследований (Thevs et al., 2013) определены запасы углерода саксаульной растительности пустынь Средней Азии. Живая надземная биомасса саксаула колеблется от 1,5 т/га до 3 т/га. Потенциальные запасы углерода над землей и под землей составляют 29,4-52,1 млн т и 22-81,4 млн т соответственно. Однако вследствие незаконных вырубок и перевыпаса скота сегодня в саксауловых насаждениях осталось только 11-28% потенциальной биомассы и запасов углерода в саксауловых насаждениях.

Секвестрационный потенциал лесов в Казахстане определяется увеличением площади лесовосстановления и лесоразведения, которая в 2020 г. составила 53,5 тыс. га. В том же году поглощение парниковых газов землями, покрытыми лесом, и искусственными лесными насаждениями составило 37 600,4 тыс. тонн (World Bank, 2022). Для увеличения лесного покрова проводится разведение леса на государственных и частных территориях и восстановление лесов. В 2023 году Правительством Республики Казахстан принята «Стратегия достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года» (Стратегия, 2023). Согласно ей, смягчающий эффект последствий изменения климата сектора «Сельское и лесное хозяйство, другие виды землепользования» - поглощение парниковых газов путем связывания углерода в почве и биомассе

- происходит в лесах, пахотных землях, лугах, водно-болотных угодьях, населенных пунктах и других землях по всему Казахстану. Таким образом данный сектор чаще всего рассматривается как поглотитель углерода. Однако в 2017 году общий баланс изменился, и этот сектор превратился в нетто-эмиттера парниковых газов в размере 0,2% от общего объема выбросов. Поэтому в конце 2020 года в Казахстане принят национальный план по высадке деревьев, то есть до 2025 года необходимо высадить более двух миллиардов деревьев в лесах и 15 миллионов деревьев в населенных пунктах для увеличения поглощения углерода и сдерживания усиливающегося опустынивания (Национальный проект «Зеленый Казахстан», 2021).

Согласно «Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года» (2023) лесные экосистемы в составе сектора ЗИЗЛХ (землепользование, изменение в землепользовании и лесное хозяйство) к 2030 г. должны поглощать 20,3 млн тонн CO<sub>2</sub> в безусловной цели общего национального уровня вклада к глобальному реагированию на изменение климата; к 2040 г. - 28,3 млн т CO<sub>2</sub>, к 2050 г. - 40,3 млн т CO<sub>2</sub> на индикативном (ориентировочном) уровне; до 2060 г. - 45,2 млн т CO<sub>2</sub> как стратегическая цель с условием получения международной поддержки (Стратегия, 2023).

По данным «Инвентаризации парниковых газов в Казахстане за 2022 г.» (рис.2) потенциал секвестрирования углерода лесными насаждениями увеличился с 4412,53 тыс. т в 2016 г. до 10056,93 тыс. т в 2020 г., т.е. в 2,5 раза (Рамочная конвенция ООН, 2022).

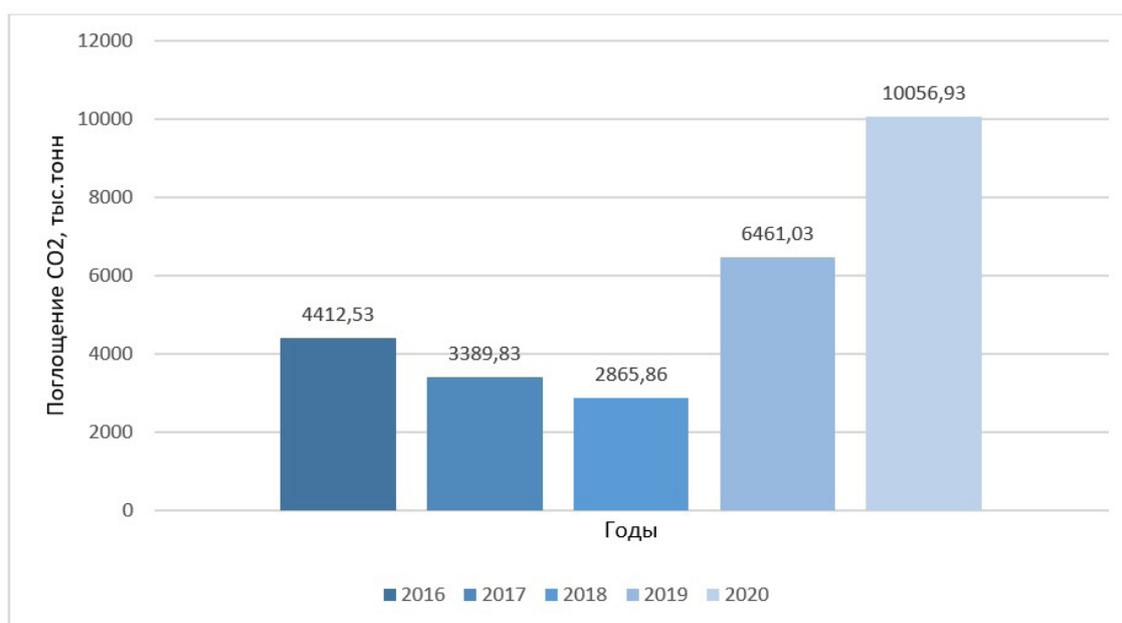


Рис.2. Секвестрирование углерода в лесах Казахстана за 2016-2020 гг. (Рамочная конвенция ООН, 2022)

Полученные результаты СВМ-CFS3 ОНУВ в (2023) показывают, что в течение первых трех лет (после посадки) каждый гектар хвойных или лиственных деревьев поглощает в среднем 1 т углерода в год, что эквивалентно 3,67 т CO<sub>2</sub> в год на гектар при отсутствии воздействия негативных факторов. Однако в дальнейшем этот показатель снижается до 0,7 т углерода в год на гектар леса вследствие пожаров, незаконных вырубок, перевыпаса скота. Таким образом, 25-летний срок эксплуатации коммерческих лесов (частных лесов) мог бы обеспечить адаптационные преимущества для страны, а также увеличить поглотители углерода, компенсируя антропогенные выбросы, которые невозможно смягчить или сократить другими способами. Поэтому возникает необходимость выращивания частных лесов и развития коммерческого лесоразведения.

#### *4.3 Поглощение углерода в зависимости от вида деревьев*

Согласно данным Рослесинфорга (Экология России, 2021) наиболее интенсивными поглотителями являются лиственные древесные породы: осина – до 3,6 т CO<sub>2</sub> в год/га; береза – до 3,3 т CO<sub>2</sub> в год/га и дуб – до 3,2 т CO<sub>2</sub> в год/га. Меньшим потенциалом поглощения обладают хвойные древесные породы: сосна - до 2,4 тонн CO<sub>2</sub> в год/га; ель и пихта - до 2 тонн CO<sub>2</sub> в год/га; кедр - до 1,8 тонн CO<sub>2</sub> в год/га; лиственница - до 1,8 тонн CO<sub>2</sub> в год/га.

В соответствии с моделью СВМ-CFS3 (Жумабаев и др., 2022) 1 га посаженного соснового леса будет поглощать в среднем около 7 тонн CO<sub>2</sub> в год с даты посадки и в течение следующих 50 лет. Следовательно, плантации сосны или аналогичных пород деревьев площадью 80 млн га будут поглощать около 560 млн.т CO<sub>2</sub> ежегодно. Авторы рекомендуют развивать коммерческое лесоразведение в Казахстане. Однако лимитирующими факторами при выращивании сосны могут быть недостаток водных ресурсов, уходных работ и качественного посадочного материала. Также при выращивании сосны нужно учитывать ее биологические особенности. Так, при изучении естественных сосновых боров Прииртышья в Казахстане было отмечено, что определяющими факторами продуктивности сосновых лесов являются геоморфологические, почвенные и гидрологические условия. При этом продуктивность биомассы древостоев и экологическая устойчивость ослаблена резкой континентальностью и прогрессирующей аридизацией при неблагоприятных антропогенных экологических воздействиях (Zhumadina et al., 2022).

### **5. Практики по повышению секвестирования углерода в лесах**

По некоторым сведениям, увеличение улавливания углерода в лесу напрямую зависит от увеличения прироста. Следовательно, для достижения максимального запаса в лесу необходимо внедрять устойчивое управление

лесами, которое способствует устойчивому использованию продуктивности почвы (Fragoso-López et al., 2017).

Практики агролесоводства повышают секвестрацию углерода выращиванием разных видов деревьев, кустарников и другой растительности. Так в исследованиях, проведенных в Эквадор Амазонии по использованию систем агролесоводства при выращивании какао, показаны результаты увеличения потенциала углерода в смешанных насаждениях, нежели в монокультурах (Jadán et al., 2015). А в Средней Азии практики агролесоводства, в частности защитные лесополосы показывают высокие результаты как для получения древесины, так и для поглощения углекислого газа (Thevs et al., 2022).

Многие ученые склоняются к тому, что для повышения потенциала улавливания углерода необходимо повышать продуктивность лесов, используя рубки ухода, применения удобрений и выбора пород деревьев (Jandl et al., 2007). В то же самое время другие ученые утверждают, что продленный оборот рубки в лесах и снижение интенсивности рубок ухода могут увеличить способность лесных экосистем улавливать углерод в долгосрочной перспективе (Kaul et al., 2010).

Некоторые ученые считают, что для дальнейшего секвестирования в управляемых лесах нужно увеличивать количество углерода в биомассе на корню в результате изменений в землепользовании и повышения продуктивности, в количестве неподатливого углерода, остающегося под землей после вырубки леса, в количестве углерода, содержащегося в продуктах, созданных из заготовленной древесины (Johnsen et al., 2001).

Лесовосстановление наиболее эффективно снизит выбросы, если деревья будут высажены на высокопродуктивных участках, ранее покрытых лесом. Обычно такие участки встречаются в тропических или субтропических экосистемах. Посадка смешанных лесов часто повышает продуктивность, снижает воздействие нарушений и увеличивает биоразнообразие по сравнению с монокультурами (Waring et al., 2020).

В целом, лесоразведение и развитие плантационного лесовыращивания может внести существенный вклад в повышение секвестрационной способности лесов.

## **Заключение**

Таким образом на основании проведенного анализа имеющихся исследований можно сделать следующие выводы:

Для оценки потенциала секвестирования лесов в качестве основных показателей необходимо учитывать их биомассу и продуктивность.

Естественные леса имеют больше потенциала накопления углерода, чем искусственные и управляемые леса, однако с течением времени управляемые леса обладают большей скоростью поглощения углерода. Поэтому необходимо развивать коммерческое лесовыращивание и восстанавливать леса на ранее покрытых лесом участках.

Существующие модели для оценки секвестирования в лесных насаждениях не отвечают всем требованиям. Поэтому необходимо проводить дальнейшие исследования для оценки потенциала секвестирования и разработке моделей.

В данное время в Казахстане секвестрационный потенциал лесов слабо изучен, хотя имеются данные по некоторым видам деревьев и их поглощающей способности, а также по практикам агролесоводства и лесовыращивания. Поэтому следует продолжать проводить исследования в изучении способности улавливания углерода лесами, а также повышать способность лесов к поглощению углекислого газа в Казахстане путем коммерческого лесовыращивания и облесения территорий.

## Список литературы

- Баранов, С.М. & Боранбай, Ж.Т. (2014). База данных по распределению органического углерода и его годичного депонирования лесами (на примере Карагандинской, Восточно-Казахстанской и Алматинской областей), Щучинск.
- Жумабаев, Д., Бакдолотов, А., Де Мильо, Р., Литвак, В., Байбакишева, А., Сарбасов, Е., & Байгарин, К. (2022). Путь Казахстана к нулевым выбросам парниковых газов. Нур-Султан.
- Касторнова, А.В., Дмитриева, Д.В., & Бытотова, К.М. (2022). Глобальные экологические проблемы леса и природы в целом. Сборник трудов национальной научно-практической конференции «Интеграция науки и образования в аграрных вузах для обеспечения продовольственной безопасности России», 239-244. Дата обращения: 28.12.2023. <https://elibrary.ru/item.asp?id=49972912>
- Комитет лесного хозяйства и животного мира Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. (21 сентября 2022). *Лесной фонд Казахстана*. <https://www.gov.kz/memleket/entities/forest/press/article/details/96653?lang=ru>
- Межгосударственная комиссия по устойчивому развитию. (2014). Национальный доклад Республики Казахстан о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990-2014 гг. Дата обращения: 10.07.2023. <https://www.mkurca.org/wp-content/uploads/docs/strany/kz/>
- Министерство Экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан. (2021). Национальный доклад Республики Казахстан о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990-2019 гг.
- Невежин, В.П., & Шуварики, М.Д. (2022). Исследование факторов, влияющих на выбросы углекислого газа. *Управленческий учет*, 3 (3), 618-625. <https://doi.org/10.25806/uu3-32022618-625>
- Обновленный национальный вклад Республики Казахстан в глобальное реагирование на изменение климата. (2023). Дата обращения: 10.07.2023. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000313>
- Проект WECOOP. Связывание (секвестрация) углерода. Дата обращения: 10.07.2023. <https://wecoop.eu/ru/glossary/climate>

- Рамочная конвенция ООН. (2022). Восьмое Национальное Сообщение и Пятый Двухгодичный Доклад Республики Казахстан Рамочной Конвенции ООН об Изменении Климата. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/8NC\\_Kazakhstan\\_2022v1.0.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/8NC_Kazakhstan_2022v1.0.pdf)
- Стратегия достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года. (2023). Дата обращения: 10.07.2023 <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121>
- Шам, П.И. (2003). Влияние углекислого газа атмосферы земли на потепление климата. Вестник Приазовского государственного технического университета. *Серия: Технические науки*, 13, 297-302. Дата обращения: 25.12.2023 <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-uglekislogoga-gaza-atmosfery-zemli-na-poteplenie-klimata>
- Экология России. (17 декабря 2021). Рослесинфорг составил рейтинг главных «пожирателей» парниковых газов. Дата обращения: 19.07.2023. <https://ecologyofrussia.ru/rejting-pozhirateley-ugleroda/>
- Adermann, V., Padari, A., Sirgmets, R., Kosk, A., & Kaimre, P. (2015). Valuation of Timber Production and Carbon Sequestration on Järvelja Nature Protection Area. *Forestry Studies*, 63 (1), 29-43. <https://doi.org/10.1515/fsmu-2015-0007>
- Aishan, T., Betz, F., Halik, U., Cyffka, B., & Rouzi, A. (2018). Biomass Carbon Sequestration Potential by Riparian Forest in the Tarim River Watershed, Northwest China: Implication for the Mitigation of Climate Change Impact. *Forests*, 9 (4), 196. <https://doi.org/10.3390/f9040196>
- Analuddin, K., Kadidae, L.O, Haya, L., Septiana A., Sahidin I., Syahrir L., Rahim S., Fajar L.O.A., & Nadaoka K. (2020). Aboveground Biomass, Productivity and Carbon Sequestration in Rhizophora Stylosa Mangrove Forest of Southeast Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas*. 21 (4), 1316-1325. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210407>
- Arora, P., & Chaudhry, S. (2015). Carbon Sequestration Potential of Populus Deltoides Plantation Under Social Forestry Scheme in Kurukshetra, Haryana in Northern India. *Journal of Materials and Environmental Science*. 6 (3), 713-720.
- Babbar, D., Areendran, G., Sahana, M., Sarma, K., Raj, K., & Sivadas, A. (2021). Assessment and Prediction of Carbon Sequestration using Markov Chain and InVEST Model in Sariska Tiger Reserve, India. *Journal of Cleaner Production*. 278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123333>
- Backéus, S., Wikström, P., & Lämås. T. (2005). A Model for Regional Analysis of Carbon Sequestration and Timber Production. *Forest Ecology and Management*. 216 (1-3), 28-40. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.05.059>
- Braakhekke, M. C., Doelman, J. C., Baas, P., Müller, C., Schaphoff, S., Stehfest, E., & van Vuuren, D. P. (2019). Modeling forest plantations for carbon uptake with the LPJmL dynamic global vegetation model. *Earth System Dynamics*. 10(4), 617-630. <https://doi.org/10.5194/esd-10-617-2019>
- Chang, F.-Ch., Ko, Ch.-H., Yang, P.-Y., Chen, K.-Sh., & Chang, K.-H. (2017). Carbon Sequestration and Substitution Potential of Subtropical Mountain Sugi Plantation Forests in Central Taiwan. *Journal of Cleaner Production*, 167, 1099-1105. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.016>
- Coomes, D.A., Holdaway, R.J., Kobe, R.K., Lines, E. R., & Allen, R. B. (2012). A General Integrative Framework for Modelling Woody Biomass Production and Carbon Sequestration Rates in Forests. *Journal of Ecology*. 100 (1), 42-64. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01920.x>
- FAO. Forests and Climate Change Working Paper 1 Instruments Related to The United Nations Framework Convention on Climate Change and their Potential for Sustainable Forest Management in Africa (2003). Дата обращения: 10.07.2023 <https://www.fao.org/3/ac836e/AC836E00.HTM#TopOfPage>
- Fragoso-López, P. I., Rodríguez-Laguna, R., Otazo-Sánchez, E.M., González-Ramírez, C.A., Valdéz-Lazalde, J.R., Cortés-Blobaum, H.J., & Razo-Zárate, R. (2017). Carbon Sequestration in Protected Areas: A Case Study of an Abies Religiosa (H.B.K.) Schlecht. Et Cham Forest. *Forests*. 8(11), 429. <https://doi.org/10.3390/f8110429>
- Hobbs, T. J., Neumann, C.R., Meyer, W.S., Moon, T., & Bryan, B.A. (2016). Models of Reforestation Productivity and Carbon Sequestration for Land use and Climate Change Adaptation Planning in South Australia. *Journal of Environmental Management*. 181, 279-288. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.049>

- Hoek van Dijke, A., Herold, M., Mallick, K., Benedict, I., Machwitz, M., Schlerf, M., Pranindita, A., Theeuwen, J., Bastin, J., Teuling, A. (2022). Shifts in regional water availability due to global tree restoration. *Nature Geoscience*. <http://dx.doi.org/10.1038/s41561-022-00935-0>
- Huang, L., Zhou, M., Lv, J., & Chen, K. (2020). Trends in global research in forest carbon sequestration: A bibliometric analysis. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119908. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119908>
- Jadán, O., Cifuentes, M., Torres, B., & Selesi, D. (2015). Influence of Tree Cover on Diversity, Carbon Sequestration and Productivity of Cocoa Systems in the Ecuadorian Amazon. *Bois Et Forêts Des Tropiques*. 325, 35-47. <https://doi.org/10.19182/bft2015.325.a31271>
- Jandl, R., Vesterdal, L., Olsson, M., Bens, O., Badeck, F., & Roc, J. (2007). Carbon Sequestration and Forest Management. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, *Nutrition and Natural Resources*. 2. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20072017>
- Jha, K. K. (2015). Carbon Storage and Sequestration Rate Assessment and Allometric Model Development in Young Teak Plantations of Tropical Moist Deciduous Forest, India. *Journal of Forestry Research*. 26 (3), 589-604. <https://doi.org/10.1007/s11676-015-0053-9>
- Johnsen, K. H., Wear, D.N., Oren, R., Teskey, R.O., Sanchez, F., Will, R.E., Butnor, J., Markewitz, D., Richter, D., Rials, T., Allen, H.L., Seiler, J., Ellsworth, D., Maier, C., Katul, G., & Dougherty, P.M. (2001). Meeting Global Policy Commitments: Carbon Sequestration and Southern Pine Forests. *Journal of Forestry*. 99(4), 14-21. <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/2420>
- Karsenty, A., Blanco, C., & Dufour, T. (2003). Forest and climate change. Instruments related to the United Nations Framework Convention on Climate Change and their potential for sustainable forest management in Africa. FAO, Rome.
- Kaul, M., Mohren, G. M. J., & Dadhwal, V. K. (2010). Carbon Storage and Sequestration Potential of Selected Tree Species in India. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 15 (5), 489-510. <https://doi.org/10.1007/s11027-010-9230-5>
- Krug, J. H. A. (2019). How can Forest Management Increase Biomass Accumulation and CO2 Sequestration? A Case Study on Beech Forests in Hesse, Germany. *Carbon Balance and Management*, 14 (1). <https://doi.org/10.1186/s13021-019-0132-x>
- Popo-Ola, F. S., Aiyeloja, A. A., & Adedeji, G.A. (2012). Sustaining Carbon Sink Potentials in Tropical Forest. *Journal of Agriculture and Social Research*. 12(1), 64-73. <https://www.ajol.info/index.php/jasr/article/view/81684>
- Rohatyn, Sh., Yakir, D., Rotenberg, Ey., & Carmel, Yo. (2022) Limited climate change mitigation potential through forestation of the vast dryland regions. *Science*. 377(6613), 1436-1439. <https://doi.org/10.1126/science.abm9684>
- Saklaurs, M., Kārklīņa, A., Liepa, L., & Jansons, Ā. (2022). The Evaluation of Small- and Medium-Stream Carbon Pools in the Riparian Forests in Latvia. *Forests*. 13(4), 506. <https://doi.org/10.3390/f13040506>
- Sharma, V., Chand, H., Rai, N., & Prasad, M. (2017). Carbon sequestration in forest ecosystem and methods for its evaluation. 4. 24-30. [https://www.researchgate.net/publication/328030647\\_Carbon\\_sequestration\\_in\\_forest\\_ecosystem\\_and\\_methods\\_for\\_its\\_evaluation](https://www.researchgate.net/publication/328030647_Carbon_sequestration_in_forest_ecosystem_and_methods_for_its_evaluation)
- Thevs, N., Aliev, K., Emileva, B., Yuldasheva, D., Eshchanova, G., & Welp, M. (2022). Potential of Agroforestry to Provide Wood Resources to Central Asia. *Forests*; 13(8), 1193. <https://doi.org/10.3390/f13081193>
- Thevs, N., Wucherer, W., & Buras A. (2013). Spatial distribution and carbon stock of the Saxaul vegetation of the winter-cold deserts of Middle Asia. *Journal of Arid Environments*. 90, 29-35 <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.10.013>
- United Nations Climate Change. (2022). The 8th National Communication and the 5th Biennial Report of the Republic of Kazakhstan to the UN Framework Convention on Climate Change. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/8NC\\_Kazakhstan\\_2022v1.0.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/8NC_Kazakhstan_2022v1.0.pdf)
- Waring, B., Neumann, M., Prentice, I. C., Adams, M., Smith, P., & Siegert, M. (2020). Forests and Decarbonization - Roles of Natural and Planted Forests. *Frontiers in Forests and Global Change*. 3. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00058>

- World Bank (2022). Kazakhstan - Country Climate and Development Report (English). Washington, D.C.: World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/099420411012246024/P1773690ad92b401b089700f5be8659ecf0>
- Zhao, J., Wei, X., & Li, L. (2022). The potential for storing carbon by harvested wood products. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1055410>
- Zhumadina, S., Chlachula, J., Zhaglovskaya-Faurat, A., Czerniawska, J., Satybaldieva, G., Nurbayeva, N., Mapitov, N., Myrzagaliyeva, A., & Boribay, E. (2022). Environmental Dynamics of the Ribbon-Like Pine Forests in the Parklands of North Kazakhstan. *Forests*, 13(1), 2. <https://doi.org/10.3390/f13010002>

## Carbon Sequestration Assessment in Kazakhstan's Forests: Analytical Review

Borissova Yu. S. 

Kazakh-German University, 111, Pushkin str., Almaty, 050010, Kazakhstan

Corresponding author: [borissova@dku.kz](mailto:borissova@dku.kz)

<https://doi.org/10.29258/CAJSCR/2023-R1.v2-2/50-68.rus>

### ABSTRACT

Climate change processes are occurring on a global scale, accompanied by the emission of substantial greenhouse gas quantities into the atmosphere, with carbon monoxide and dioxide as their predominant components. The analytical review presents the results of assessing the current state of existing research on carbon sequestration in forests. Forest ecosystems play a crucial role in climate change mitigation by absorbing substantial amounts of carbon dioxide from the atmosphere, making woodlands the most important carbon sink. Forest biomass and productivity determine the level of carbon accumulation in forest ecosystems. The methods for estimating carbon sequestration are based on various models such as InVEST, CO2FIX, CBM-CFS3, etc. It has been observed that forests accumulate, absorb, and emit carbon dioxide, constituting a trifecta in climate change dynamics. The limited research on carbon sequestration by forests in Kazakhstan substantiates further targeted scientific investigation. The recommendations for enhancing the carbon sequestration potential of domestic woodlands include afforestation and commercial forestry. Progress in these sectors will not only improve the efficiency but also foster the sustainable development of forest resources as a means of climate change adaptation.

### ARTICLE HISTORY

Received: July 24, 2023

Accepted: October 15, 2023

Published: November 3, 2023

### KEYWORDS

climate change, carbon sequestration, forests

## References

- Adermann, V., Padari, A., Sirgmet, R., Kosk, A., & Kaimre, P. (2015). Valuation of Timber Production and Carbon Sequestration on Järvelja Nature Protection Area. *Forestry Studies*, 63 (1), 29-43. <https://doi.org/10.1515/fsmu-2015-0007>
- Aishan, T., Betz, F., Halik, U., Cyffka, B., & Rouzi, A. (2018). Biomass Carbon Sequestration Potential by Riparian Forest in the Tarim River Watershed, Northwest China: Implication for the Mitigation of Climate Change Impact. *Forests*, 9 (4), 196. <https://doi.org/10.3390/f9040196>
- Analuddin, K., Kadidae, L.O, Haya, L., Septiana A., Sahidin I., Syahrir L., Rahim S., Fajar L.O.A., & Nadaoka K. (2020). Aboveground Biomass, Productivity and Carbon Sequestration in Rhizophora Stylosa Mangrove Forest of Southeast Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas*. 21 (4), 1316-1325. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210407>
- Arora, P., & Chaudhry, S. (2015). Carbon Sequestration Potential of Populus Deltoides Plantation Under Social Forestry Scheme in Kurukshetra, Haryana in Northern India. *Journal of Materials and Environmental Science*. 6 (3), 713-720.
- Babbar, D., Areendran, G., Sahana, M., Sarma, K., Raj, K., & Sivadas, A. (2021). Assessment and Prediction of Carbon Sequestration using Markov Chain and InVEST Model in Sariska Tiger Reserve, India. *Journal of Cleaner Production*. 278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123333>
- Backéus, S., Wikström, P., & Lämås. T. (2005). A Model for Regional Analysis of Carbon Sequestration and Timber Production. *Forest Ecology and Management*. 216 (1-3), 28-40. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.05.059>
- Baranov, S.M. & Boranbaj, Zh.T. (2014). Database on the distribution of organic carbon and its annual sequestration by forests (on the example of Karaganda, East Kazakhstan and Almaty regions) [База данных по распределению органического углерода и его годового депонирования лесами (на примере Карагандинской, Восточно-Казхстанской и Алматинской областей)], Shhuchinsk. (In Russian)
- Braakhekke, M. C., Doelman, J. C., Baas, P., Müller, C., Schaphoff, S., Stehfest, E., & van Vuuren, D. P. (2019). Modeling forest plantations for carbon uptake with the LPJmL dynamic global vegetation model. *Earth Syst. Dynam.*, 10, 617-630. <https://doi.org/10.5194/esd-10-617-2019>
- Chang, F.-Ch., Ko, Ch.-H., Yang, P.-Y., Chen, K.-Sh., & Chang, K.-H. (2017). Carbon Sequestration and Substitution Potential of Subtropical Mountain Sugi Plantation Forests in Central Taiwan. *Journal of Cleaner Production*, 167:1099-1105, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.016>
- Committee of Forestry and Wildlife of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan (Komitet lesnogo hozjajstva i zhivotnogo mira Ministerstva jekologii i prirodnyh resursov Respubliki Kazakhstan). (2022, September 21). Forest Fund of Kazakhstan [Lesnoj fond Kazahstana]. (available at: <https://www.gov.kz/memleket/entities/forest/press/article/details/96653?lang=ru>) (In Russian)
- Coomes, D.A., Holdaway, R.J., Kobe, R.K., Lines, E. R., & Allen, R. B. (2012). A General Integrative Framework for Modelling Woody Biomass Production and Carbon Sequestration Rates in Forests. *Journal of Ecology*. 100 (1), 42-64. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01920.x>
- Ecology of Russia [Jekologija Rossii]. (2021, December 17). Roslesinforg has compiled a rating of the main "eaters" of greenhouse gases [Roslesinforg sostavil rejting glavnyh «pozhiratelej» parnikovyh gazov]. (available at: <https://ecologyofrussia.ru/rejting-pozhirateley-ugleroda/>) (In Russian)
- FAO (2003). Forests and Climate Change Working Paper 1 Instruments Related to The United Nations Framework Convention on Climate Change and their Potential for Sustainable Forest Management in Africa. (available at: <https://www.fao.org/3/ac836e/AC836E00.HTM#TopOfPage>)
- Fragoso-López, P. I., Rodríguez-Laguna, R., Otazo-Sánchez, E.M., González-Ramírez, C.A., Valdéz-Lazalde, J.R., Cortés-Blobaum, H.J., & Razo-Zárate, R. (2017). Carbon Sequestration in Protected Areas: A Case Study of an Abies Religiosa (H.B.K.) Schlecht. Et Cham Forest. *Forests*. 8(11), 429. <https://doi.org/10.3390/f8110429>

- Hobbs, T. J., Neumann, C.R., Meyer, W.S., Moon, T., & Bryan, B.A. (2016). Models of Reforestation Productivity and Carbon Sequestration for Land use and Climate Change Adaptation Planning in South Australia. *Journal of Environmental Management*. 181, 279-288. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.049>
- Hoek van Dijke, A., Herold, M., Mallick, K., Benedict, I., Machwitz, M., Schlerf, M., Pranindita, A., Theeuwens, J., Bastin, J., Teuling, A. (2022). Shifts in regional water availability due to global tree restoration. *Nature Geoscience*. <http://dx.doi.org/10.1038/s41561-022-00935-0>
- Huang, L., Zhou, M., Lv, J., & Chen, K. (2020). Trends in global research in forest carbon sequestration: A bibliometric analysis. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119908. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119908>
- Jadán, O., Cifuentes, M., Torres, B., & Selesi, D. (2015). Influence of Tree Cover on Diversity, Carbon Sequestration and Productivity of Cocoa Systems in the Ecuadorian Amazon. *Bois Et Forêts Des Tropiques*. 325, 35-47. <https://doi.org/10.19182/bft2015.325.a31271>
- Jandl, R., Vesterdal, L., Olsson, M., Bens, O., Badeck, F., & Roc, J. (2007). Carbon Sequestration and Forest Management. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, *Nutrition and Natural Resources*. 2. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20072017>
- Jha, K. K. (2015). Carbon Storage and Sequestration Rate Assessment and Allometric Model Development in Young Teak Plantations of Tropical Moist Deciduous Forest, India. *Journal of Forestry Research*. 26 (3), 589-604. <https://doi.org/10.1007/s11676-015-0053-9>
- Johnsen, K. H., Wear, D.N., Oren, R., Teskey, R.O., Sanchez, F., Will, R.E., Butnor, J., Markewitz, D., Richter, D., Rials, T., Allen, H.L., Seiler, J., Ellsworth, D., Maier, C., Katul, G., & Dougherty, P.M. (2001). Meeting Global Policy Commitments: Carbon Sequestration and Southern Pine Forests. *Journal of Forestry*. 99(4), 14-21. <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/2420>
- Karsenty, A., Blanco, C., & Dufour, T. (2003). Forest and climate change. Instruments related to the United Nations Framework Convention on Climate Change and their potential for sustainable forest management in Africa. FAO, Rome.
- Kastornova, A.V., Dmitrieva, D.V., & Bytotova, K.M. (2022). Global'nye jekologicheskie problemy lesa i prirody v celom [Global environmental problems of forests and nature in general]. *Sbornik trudov nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii «Integracija nauki i obrazovanija v agrarnyh vuzah dlja obespechenija prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossii»* [Collection of proceedings of the national scientific and practical conference "Integration of science and education in agricultural universities to ensure food security in Russia"], 239-244. Data obrashhenija: 28.12.2023. <https://elibrary.ru/item.asp?id=49972912> (in Russian)
- Kaul, M., Mohren, G. M. J., & Dadhwal, V. K. (2010). Carbon Storage and Sequestration Potential of Selected Tree Species in India. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 15 (5), 489-510. <https://doi.org/10.1007/s11027-010-9230-5>
- Krug, J. H. A. (2019). How can Forest Management Increase Biomass Accumulation and CO2 Sequestration? A Case Study on Beech Forests in Hesse, Germany. *Carbon Balance and Management*, 14 (1). <https://doi.org/10.1186/s13021-019-0132-x>
- Interstate Commission for Sustainable Development [Mezhgosudarstvennaja komissija po ustojchivomu razvitiju] (2014). National report of the Republic of Kazakhstan on the inventory of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol for 1990-2014. [Nacional'nyj doklad Respubliki Kazahstan o kadastre antropogennyh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotiteljami parnikovyh gazov, ne reguliruemyh Monreal'skim protokolom, za 1990-2014 gg.]. (available at: <https://www.mkurca.org/wp-content/uploads/docs/strany/kz/>) [in Russian]
- Ministerstvo Jekologii, geologii i prirodnyh resursov Respubliki Kazahstan. [Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan] (2021). *Nacional'nyj doklad Respubliki Kazahstan o kadastre antropogennyh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotiteljami parnikovyh gazov, ne reguliruemyh Monreal'skim protokolom, za 1990-2019 gg.* [National report of the Republic of Kazakhstan on the inventory of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases not regulated by the Montreal Protocol for 1990-2019.] (in Russian)

- Nevezhin, V.P., & Shuvarikov, M.D. (2022). Issledovanie faktorov, vlijajushhih na vybrosy uglekislogo gaza. [Study of Factors Affecting Carbon Dioxide Emissions]. *Upravlencheskij uchet - Management Accounting*, 3 (3), 618-625. <https://doi.org/10.25806/uu3-32022618-625> (in Russian)
- Sham, P.I. (2003). Vlijanie uglekislogo gaza atmosfery zemli na poteplenie klimata [The influence of carbon dioxide in the earth's atmosphere on climate warming]. *Vestnik Priazovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Tehničeskije nauki - Bulletin of the Azov State Technical University. Series: Technical Sciences*, 13, 297-302. Data obrashhenija: 25.12.2023 <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-uglekislogo-gaza-atmosfery-zemli-na-poteplenie-klimata> (in Russian)
- Updated national contribution of the Republic of Kazakhstan to the global response to climate change [Obnovlennyj nacional'nyj vklad Respubliki Kazahstan v global'noe reagirovanie na izmenenie klimata.] (2023). (available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000313>) (in Russian)
- Popo-Ola, F. S., Aiyeloja, A. A., & Adedeji, G.A. (2012). Sustaining Carbon Sink Potentials in Tropical Forest. *Journal of Agriculture and Social Research*. 12(1), 64-73. <https://www.ajol.info/index.php/jasr/article/view/81684>
- Rohatyn, Sh., Yakir, D. Rotenberg, Ey., & Carmel, Yo. (2022) Limited climate change mitigation potential through forestation of the vast dryland regions. *Science*. 377(6613), 1436-1439. <https://doi.org/10.1126/science.abm9684>
- Saklaurs, M., Kārklīņa, A., Liepa, L., & Jansons, Ā. (2022). The Evaluation of Small- and Medium-Stream Carbon Pools in the Riparian Forests in Latvia. *Forests*. 13(4), 506. <https://doi.org/10.3390/f13040506>
- Sharma, V., Chand, H., Rai, N., & Prasad, M. (2017). Carbon sequestration in forest ecosystem and methods for its evaluation. *Van Sangyan*. 4 (12), 24-30. (available at: [https://www.researchgate.net/publication/328030647\\_Carbon\\_sequestration\\_in\\_forest\\_ecosystem\\_and\\_methods\\_for\\_its\\_evaluation](https://www.researchgate.net/publication/328030647_Carbon_sequestration_in_forest_ecosystem_and_methods_for_its_evaluation))
- Strategy for achieving carbon neutrality of the Republic of Kazakhstan until 2060 [Strategija dostizhenija uglerodnoj nejtral'nosti Respubliki Kazahstan do 2060 goda]. (2023). (available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121>) (in Russian)
- Thevs, N., Aliev, K., Emileva, B., Yuldasheva, D., Eshchanova, G., & Welp, M. (2022). Potential of Agroforestry to Provide Wood Resources to Central Asia. *Forests*; 13(8), 1193. <https://doi.org/10.3390/f13081193>
- Thevs, N., Wucherer, W., & Buras A. (2013). Spatial distribution and carbon stock of the Saxaul vegetation of the winter-cold deserts of Middle Asia. *Journal of Arid Environments*. 90, 29-35 <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.10.013>
- United Nations Climate Change [Ramochnaja konvencija OON]. (2022). The 8th National Communication and the 5th Biennial Report of the Republic of Kazakhstan to the UN Framework Convention on Climate Change [Vos'moe Nacional'noe Soobshhenie i Pjatyj Dvuhgodichnyj Doklad Respubliki Kazahstan Ramochnoj Konvencii OON ob Izmenenii Klimata]. (available at: [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/8NC\\_Kazakhstan\\_2022v1.0.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/8NC_Kazakhstan_2022v1.0.pdf)) (In Russian)
- Waring, B., Neumann, M., Prentice, I. C., Adams, M., Smith, P., & Siegert, M. (2020). Forests and Decarbonization - Roles of Natural and Planted Forests. *Front. For. Glob. Change*, 3. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00058>
- World Bank (2022). Kazakhstan - Country Climate and Development Report (English). Washington, D.C.: World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/099420411012246024/P1773690ad92b401b089700f5be8659ecf0>
- WECOOP project. (n.d.). Carbon Sequestration [Svjazyvanie (sekvestracija) ugleroda]. Retrieved July 9, 2020 (available at: <https://wecoop.eu/ru/glossary/climate>) (In Russian)
- Zhao, J., Wei, X., & Li, L. (2022). The potential for storing carbon by harvested wood products. *Frontiers in Forests and Global Change*. 5. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1055410>

Zhumabaev, D., Bakdolotov, A., De Mil'o, R., Litvak, V., Bajbakisheva, A., Sarbasov, E. & Bajgarin, K. (2022). Kazakhstan's path to zero greenhouse gas emissions [Put' Kazahstana k nulevym vybrosam parnikovyh gazov]. Nur-Sultan.

Zhumadina, S., Chlachula, J., Zhaglovskaya-Faurat, A., Czerniawska, J., Satybaldieva, G., Nurbayeva, N., Mapitov, N., Myrzagaliyeva, A., & Boribay, E. (2022). Environmental Dynamics of the Ribbon-Like Pine Forests in the Parklands of North Kazakhstan. *Forests*, 13(1), 2. <https://doi.org/10.3390/f13010002>