

Авла Харди Какакхан Авла, А.С. Алексеев

**ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА РОСТА ЛЕСОВ
В ИРАКСКОМ КУРДИСТАНЕ
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МЕТЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

Введение. Известно, что климат существенно влияет на состояние лесов, формирование прироста и запаса насаждений древесных растений. Он в значительной мере определяет средний уровень продуктивности лесов, ее межгодовую изменчивость и пространственную структуру. Неблагоприятные метеоклиматические явления в форме, например, засух представляют собой серьезную природную угрозу, влияющую на лесные экосистемы, что может приводить к обезвоживанию древесных растений и влиять на величину площади лесного растительного покрова. Современные изменения климата, происходящие как на местном, так и на глобальном уровне, как произошедшие, так и прогнозируемые, оказывают значительное влияние на частоту чрезвычайных климатических ситуаций, в том числе засух. Для наблюдения за возникновением и интенсивностью засух были созданы многочисленные методы, такие как технологии дистанционного зондирования Земли, позволяющие контролировать влажность почвы и состояние растительности на обширных территориях [Gaznaev et al., 2021; Авла, Алексеев, 2022; Авла, Алексеев, 2024]. Важной задачей для лесного хозяйства является определение потенциальной продуктивности лесов, в том числе когда они могут в данный момент отсутствовать на изучаемом месте обитания или измениться в результате происходящих изменений климата [Benavides, Roig, Osoro, 2009; Diodato, Bellocchi, 2020; Wen-Qiang Gao et al., 2020; Лебедев, 2023].

Важное значение при изучении потенциальной продуктивности лесов имеет периодический закон географической зональности [Григорьев, Будыко, 1956; Григорьев, 1957], согласно которому в основе разделения поверхности Земли на зоны лежат: 1) количество поглощаемой солнечной энергии, возрастающее от полюсов к экватору и характеризующее годовыми величинами радиационного баланса земной поверхности;

2) количество поступающей влаги, испытывающее ряд колебаний на фоне общего роста в том же направлении и характеризуемое годовыми суммами осадков; 3) соотношение тепла и влаги, точнее отношение радиационного баланса к количеству тепла, необходимому для испарения годовой суммы осадков. Последняя величина, именуемая радиационным индексом сухости, колеблется от 0 до 5, трижды между полюсом и экватором проходя через значения, близкие к единице: в зонах лиственных лесов умеренного пояса, дождевых лесов субтропического пояса и экваториальных лесов, переходящих в светлые тропические леса. Вследствие возрастания в направлении экватора абсолютных величин радиационного баланса и осадков, каждое прохождение индекса сухости через единицу происходит при всё более высоком притоке тепла и влаги. Это приводит к увеличению от высоких широт к низким широтам интенсивности природных процессов и особенно продуктивности растительного покрова. По некоторым данным метеоклиматические факторы определяют продуктивность мест обитания более чем на 60% [Hägglund, 1981].

В основе периодического закона географической зональности лежит индекс радиационной сухости, характеризующий соотношение тепла и увлажнения. Наиболее известным климатическим индексом роста лесов, также учитывающим соотношение тепла и влаги, является индекс CVP (Climate, Vegetation, Productivity) Патерсона [Paterson, 1956; Мелехов, 1980], который был разработан для прогнозирования максимального потенциала роста лесов с точки зрения возможного прироста объема древесины [Hägglund, 1981; Johnston et al. 1967]. Традиционно этот индекс использовался для больших территорий и даже в глобальном масштабе [Lemieux, 1961; Palomares, Serrano, 2000]. Тем не менее, с помощью новых технологий и наличия большего количества и более качественных наборов и баз данных этот индекс может применяться в региональном масштабе. Несмотря на свои ограничения, он может быть полезен для сравнения территорий, расположенных в пределах одного региона, независимо от наличия или отсутствия деревьев, возраста древостоев или их видового состава [Vanclay, 1994; Rahman, Aster, 2015].

Еще одним примером широко применяемого климатического индекса является гидротермический коэффициент Селянинова, также основанный на соотношении тепла и увлажнения изучаемой территории [Селянинов, 1928; Ионова, Лиховидова, Лобунская, 2019].

Целью настоящей статьи является оценка потенциальной продуктивности лесов Иракского Курдистана на основе анализа гидрометеорологических данных, расчетов индекса CVP Паттерсона и гидротермического коэффициента (ГТК) Селянинова и изучения связей между этими индексами.

Объекты и методика исследования. Исследование проводилось в провинции Эрбиль на севере Ирака, занимающей площадь около 14 471 км². Климат в районе исследований преимущественно континентальный, субтропический и полусухой, в горных районах – средиземноморский. Осадки выпадают в основном с октября по май, среднегодовое количество осадков составляет в зависимости от расположения от менее чем 100 мм/год на юго-западе изучаемой территории до более 1200 мм/год в горных районах на северо-востоке. В течение года дневная температура обычно колеблется от 5 °С зимой до 35 °С летом. Однако в южных частях региона температура может превышать 50 °С [Integrated drought risk management, 2014].

На рис. 1 представлена характеристика района исследований. По данным рис. 1 видно, что изучаемая территория находится в северо-восточной части Ирака, метеорологические станции расположены на всей этой территории, годовые осадки закономерно снижаются с северо-востока на юго-запад, от горных районов к равнинным, в соответствии с высотой над уровнем моря, описываемой цифровой моделью рельефа. Анализ гидрометеорологических данных выявил сильные засухи в 1999, 2000, 2008, 2012 и 2021 годах, которые привели к соответствующим сокращениям растительного покрова, с наибольшими последствиями в районах Чоман и Хабат в 2008 году. Обильные осадки на всей территории были зарегистрированы в 2019 году, что оказало положительное воздействие на растительный покров. На северо-востоке региона выпадали более постоянные осадки, а на юго-западе наблюдались большие пространственные вариации их величины.

Сельское хозяйство в этом регионе основано как на дождевых осадках, так и на дополнительном орошении [Gaznayee et al., 2023]. Наличие сельского хозяйства в данном регионе подтверждает возможности роста здесь и древесных растений, так как их потребность в воде значительно ниже [Лир, Польстер, Фидлер, 1974]. Основными древесными породами в изучаемом регионе являются сосна калабрийская, кипарис вечнозеленый, дуб, фисташка, туя западная и мелия ацедарах.

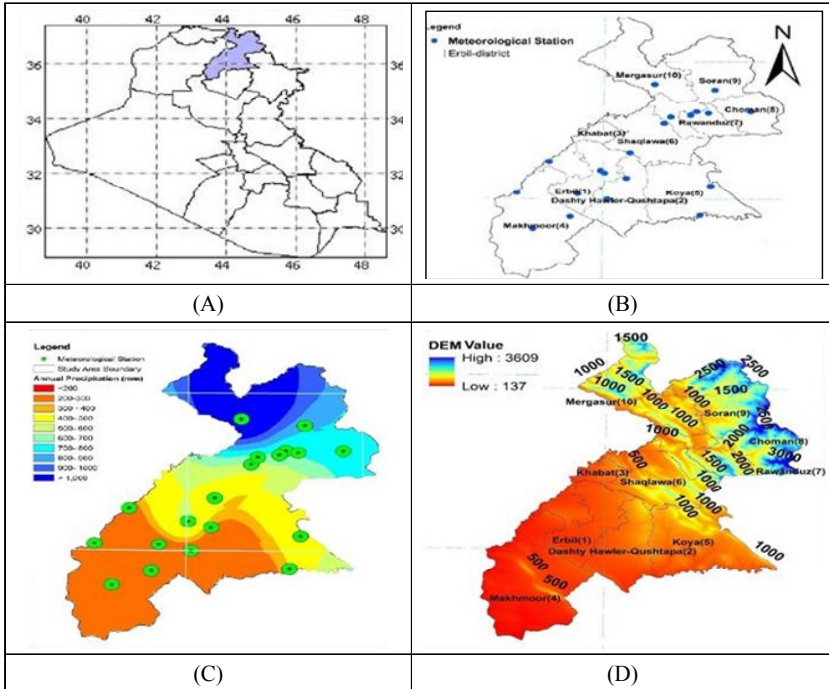


Рис. 1. Карты характеристик исследуемой территории. (А) расположение провинции Эрбиль (В); расположение метеорологических станций, (С); географическое распределение годовых осадков (мм/год) в провинции Эрбиль в период 1995–2021 гг.; (D) цифровая модель рельефа провинции Эрбиль

Fig. 1. Maps with characteristics of the studied area. (A) the Erbil area on the map of Iraq; (B) the locations of meteorological stations; (C) the geographical distribution of annual precipitation (mm/year) in Erbil province for the period 1995–2021; (D) a digital elevation model of Erbil province

Растительность занимает относительно небольшую долю площади изучаемой территории, в среднем 10,85% и колеблется от 6,45% в районе Хабат до 21,65% в районе Мергасур (рис. 1).

Для оценок потенциальной продуктивности лесов на изучаемой территории рассчитывался климатический индекс Патерсона CVP по следующей формуле:

$$CVP = \frac{T_v * P * G * E}{T_a * 12 * 100},$$

где T_v – средняя температура наиболее теплого месяца в году, °С; T_a – разность средних температур самого теплого и холодного месяцев, °С; P – годовая сумма осадков, мм; G – продолжительность вегетационного периода, месяцы; E – индекс эвапотранспирации (редукционный коэффициент на транспирацию и испарение), %. Индекс эвапотранспирации определяется по количеству падающей световой энергии:

$$E = 100 * R_p / R_s, \quad (2)$$

где R_p – количество падающей световой энергии на полюсе; R_s – количество падающей световой энергии в изучаемом районе.

Климатический индекс CVP от полюса до экватора варьирует от 0 до 20000 и более. В районах, где CVP меньше или равен 25, существование растительности невозможно.

Оценка гидротермических условий для роста лесов осуществлялась с помощью гидротермического коэффициента (ГТК) Селянинова:

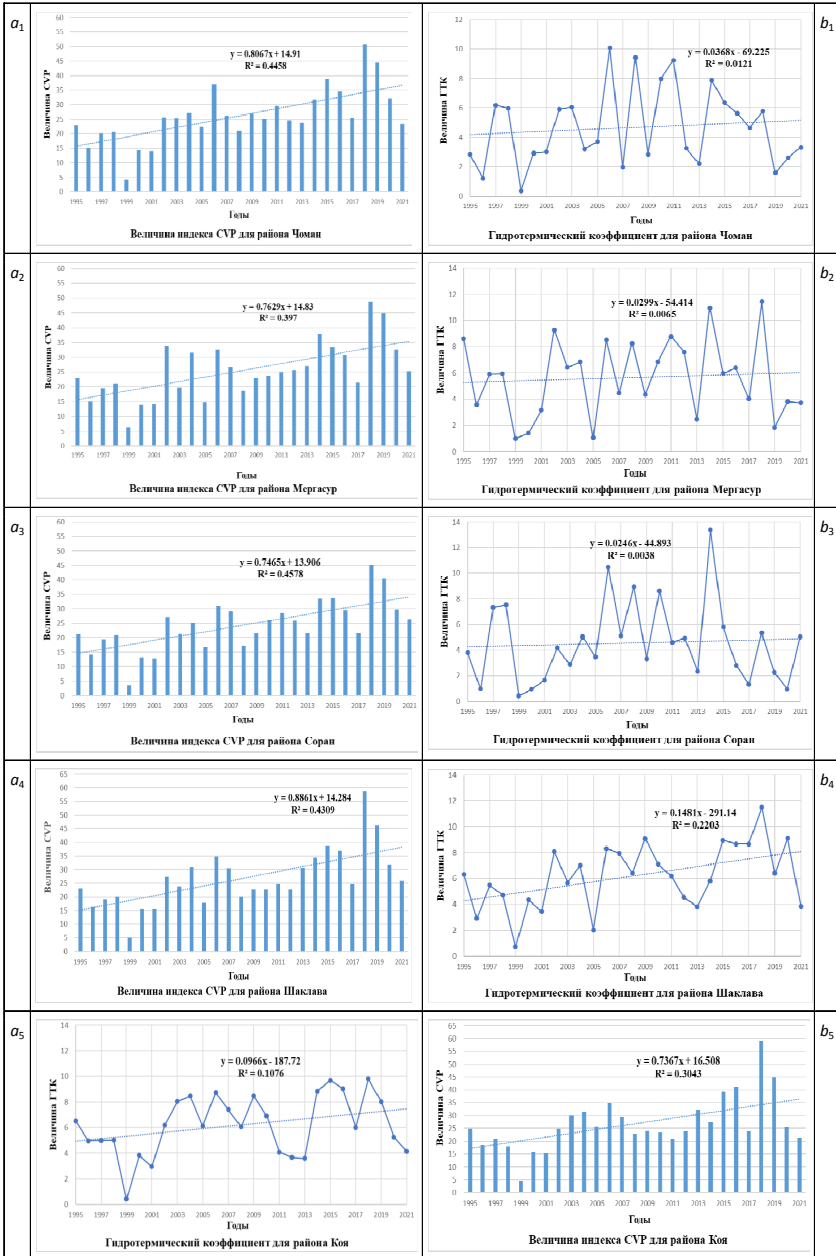
$$\text{ГТК} = (\text{сумма осадков за год}) / (\text{сумма температур выше } 10 \text{ }^\circ\text{C} \text{ за этот же период, уменьшенная в } 10 \text{ раз}). \quad (3)$$

Обработка гидрометеорологических данных, изучение связей между индексами CVP и ГТК осуществлялись методами математической статистики с применением пакета прикладных программ STATGRAPHICS 19.0.

Результаты и обсуждение. На рис. 2 представлены результаты расчетов индексов CVP и ГТК для 7 административных районов изучаемой территории: Чоман, Мергасур, Соран, Шаклава, Койа, Хабат, Эрбиль центральный. Данные представлены за период в 27 лет с 1995 по 2021 годы.

Данные рис. 2. показывают наличие тенденции к увеличению обоих индексов за изучаемый период. Более выражена количественно тенденция к увеличению индекса CVP. Кроме этого графики показывают наличие значительных колебаний (отклонений) индексов от трендов. Для изучения выявленных колебаний индексов была проверена гипотеза об их случайном характере с помощью медианного теста, во всех случаях было доказано, что колебания индексов имеют случайный характер с 95%-ным уровнем доверительной вероятности.

В табл. 1 и 2 приведены статистические характеристики индексов CVP и ГТК для всех изучаемых районов за период с 1995 по 2021 годы: среднее значение, доверительный интервал среднего при уровне доверительной вероятности 95%, коэффициент вариации, минимальное значение, максимальное значение и разница между ними (размах колебаний).



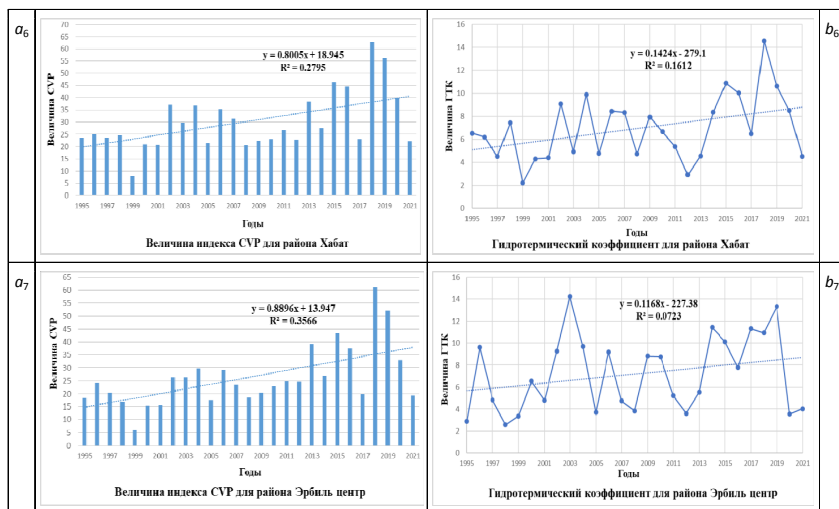


Рис. 2. Изменение во времени индексов CVP (a1–a7) и ГТК (b1–b7) по районам изучаемой территории за период с 1995 по 2021. Районы провинции: 1 – Чоман, 2 – Мергасур, 3 – Соран, 4 – Шахлава, 5 – Койа, 6 – Хабат, 7 – Эрбиль центр

Fig. 2. Time change of CVP (a1–a7) and HTC (b1–b7) indices by regions of the studied area for the period from 1995 to 2021. Province districts: 1 – Choman, 2 – Mergasur, 3 – Soran, 4 – Shaqlawa, 5 – Koya, 6 – Kabat, 7 – Erbil

Таблица 1

Статистические характеристики индекса CVP по районам изучаемой территории за период с 1995 по 2021 годы

Statistical characteristics of the CVP index for the districts of the studied area for the period from 1995 to 2021

N п/п	Район	Среднее за период	Доверительный интервал	Коэффициент вариации, %	Min	Max	Max-Min
1.	Чоман	26,20	3,79	35,9	4,26	50,67	46,41
2.	Мергасур	25,51	3,80	37,0	6,20	48,80	42,60
3.	Соран	24,36	3,46	35,3	3,63	45,24	41,61
4.	Шахлава	26,69	4,24	39,4	5,01	58,78	53,77
5.	Койа	26,82	4,19	38,8	4,58	59,23	54,65
6.	Хабат	30,15	4,75	39,1	8,00	62,70	54,70
7.	Эрбиль центр	26,40	4,68	44,0	6,11	61,08	54,97
Среднее по районам		26,59	4,13	38,5	5,40	55,21	49,81

Из данных табл. 1 следует, что средние за период 1995–2021 гг. величины индекса Патерсона CVP не очень сильно различаются по районам изучаемой территории, об этом же свидетельствует и небольшая величина 95%-го доверительного интервала. Однако коэффициент вариации и большие различия между минимальным и максимальным значениями (размах колебаний) указывают на то, что величины индекса CVP сильно варьируют по годам изучаемого периода. Так, в среднем по всем районам максимальное значение индекса превосходит минимальное более чем в 10 раз, это же справедливо и отдельно для районов Чоман, Соран, Шаклава, Койа и Эрбиль центр, то есть для 5 районов из 7. Исключение составляют районы Мергасур и Хабат, где максимальное значение индекса CVP превосходит минимальное приблизительно в 8 раз, что тоже не мало.

Таблица 2

**Статистические характеристики индекса ГТК
по районам изучаемой территории за период с 1995 по 2021 годы**

**Statistical characteristics of the HTC index for the districts
of the studied area for the period from 1995 to 2021**

№ п/п	Район	Среднее за год	Доверительный интервал	Коэффициент вариации, %	Min	Max	Max-Min
1.	Чоман	4,67	1,05	55,8	0,35	10,08	9,73
2.	Мергасур	5,65	1,16	51,1	1,01	11,42	10,41
3.	Соран	4,57	1,26	68,2	0,42	13,38	12,96
4.	Шаклава	6,21	0,99	39,6	0,76	11,53	10,77
5.	Койа	6,21	0,92	36,9	0,43	9,80	9,37
6.	Хабат	6,92	1,11	39,9	2,21	14,53	12,32
7.	Эрбиль центр	7,17	1,36	47,2	2,56	14,22	11,66
Среднее по районам		5,91	1,12	48,4	1,11	12,14	11,03

Данные табл. 2 в целом подтверждают выводы, сделанные из табл. 1, о высокой погодичной изменчивости ГТК по всем районам изучаемой территории за указанный промежуток времени. Более того, коэффициент вариации индекса ГТК выше индекса CVP на 10%. Существует следующая шкала градаций коэффициента вариации: если он < 10%, изменчивость показателя оценивается как незначительная, 10–20% – изменчивость средняя,

20–33% – изменчивость значительная, > 33% – изменчивость высокая. Если пользоваться этой шкалой, то изменчивость индексов CVP и ГТК, которые равны 38,5 и 48,4% соответственно, следует оценить как высокую. Существует классификация территорий по величине индекса ГТК: влажная – 1,6–1,3; слабо засушливая – 1,3–1,0; засушливая – 1,0–0,7; очень засушливая – 0,7–0,4; сухая – <0,4 [Evarde-Bundere, Evarts-Bunders, 2012; Ионова, Лиховидова, Лобунская, 2019; Кочугова, 2022]. Данные табл. 2 указывают на высокую контрастность изучаемой территории по степени увлажнения, минимальные значения индекса показывают ее принадлежность к засушливым и сухим категориям, в то время как максимальные – к влажным.

Таким образом, метеоклиматические условия для роста лесов в изучаемом районе являются крайне нестабильными.

Для расчетов потенциальной производительности лесов изучаемого района была использована следующая шкала соответствия величин индекса CVP и текущего прироста древесных растений по запасу (<https://helpiks.org/7-58126.html> табл. 3):

Таблица 3

Шкала соответствия величин индекса CVP и текущего прироста древесных растений по запасу

The correspondence between the values of the CVP index and the current increment of woody plants growing stock

Величина индекса CVP	0–25	25–100	101–300	301–1000	1001–5000	>5000
Потенциальный прирост, м ³ /га	0	0–3	3–6	6–9	9–12	>12

На основе данных табл. 3 для проведения расчетов потенциального прироста древесных растений на основе данных о конкретных величинах индекса CVP было получено уравнение связи прироста и величины индекса и построена калибровочная кривая в следующем виде:

$$y = K * (1 - e^{-a*x}), \quad (3)$$

где y – величина потенциального текущего прироста, м³/га-год, x – величина индекса CVP, K и a – параметры. Оценка параметров с помощью метода нелинейной регрессии дала следующие результаты: $K = 12,717$, $a = 0,002$, коэффициент детерминации уравнения равен 94,5%.

Результаты расчетов потенциальной продуктивности лесов на изучаемой территории приведены в табл. 4.

Таблица 4

Потенциальная продуктивность лесов на изучаемой территории по районам

Potential productivity of forests on the studied area by region

N п/п	Регион	Потенциальный прирост, м ³ /га-год		
		минимальный	средний	максимальный
1.	Чоман	0	0,7	1,3
2.	Мергасур	0	0,6	1,2
3.	Соран	0	0,6	1,1
4.	Шаклава	0	0,7	1,4
5.	Койа	0	0,7	1,5
6.	Хабат	0	0,8	1,5
7.	Эрбиль центр	0	0,7	1,5
Среднее по районам		0	0,7	1,5

Данные табл. 4 показывают, что потенциальный прирост лесов на изучаемой территории невысок – максимально возможные значения составляют 1,5 м³/га-год – и, более того, может совсем отсутствовать в связи с неблагоприятными гидрометеорологическими условиями.

Была изучена связь между величинами индексов CVP и ГТК, оказалось, что они тесно связаны между собой простой пропорциональной зависимостью $CVP = 4,00582 \text{ ГТК}$ с коэффициентом детерминации 86,0%. Так как получить информацию для расчетов индекса ГТК проще, то он может быть использован для оценки потенциальной продуктивности лесов на изучаемой территории.

Заключение. В результате проведенного исследования установлено, что индексы CVP и ГТК, определяющие потенциальную продуктивность растительного покрова, в том числе и лесов, на изучаемой территории имеют высокую годичную изменчивость для всех рассмотренных районов. Средние коэффициенты вариации индексов CVP и ГТК равны 38,5 и 48,4%, соответственно. Изучение изменений индексов по годам показало наличие линейной тенденции (тренда) к их увеличению за изучаемый период. Более выражена количественно, по величине коэффициента детерминации, тенденция к увеличению индекса CVP. Кроме этого графики из-

менений индексов показали наличие значительных колебаний (отклонений) индексов от трендов. Гипотеза об их случайном характере была проверена с помощью медианного теста и во всех случаях получила подтверждение.

Для расчетов потенциального прироста древесной растительности на основе литературных данных получено уравнение связи величины прироста и индекса *CVP* с высоким коэффициентом детерминации, равным 94,5%. С помощью этого уравнения проведены расчеты потенциального прироста древесной растительности для всех районов на изучаемой территории. Расчеты показали, что в результате высокой изменчивости индексов *CVP* и *ГТК* по годам изучаемого периода потенциальная продуктивность лесов на изучаемой территории в целом невысокая и составляет в среднем 0,7 м³/га-год. В благоприятные годы максимальные значения прироста могут достигать 1,5 м³/га-год, а в неблагоприятные прирост может падать до нуля, ставя таким образом древесную растительность на грань выживания.

Установлена прямая пропорциональная связь между величинами индексов *CVP* и *ГТК* с коэффициентом детерминации 86,0% для изучаемой территории, что позволяет использовать один индекс вместо другого в случае такой необходимости.

В целом, гидротермические условия для роста лесов в районе г. Эрбиль следует оценить как неблагоприятные, несмотря на выявленную положительную тенденцию к увеличению индексов *CVP* и *ГТК*, положительное влияние увеличения которых почти полностью может быть уничтожено наличием экстремальных случайных колебаний.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список.

Авля Х.К.А., Алексеев А.С. Анализ состояния растительного покрова Иракского Курдистана с использованием материалов дистанционного зондирования земли и ГИС-технологий // Цифровые технологии в лесном секторе : матер. III науч.-технич. конференции-вебинара 24–25 февраля 2022 года. Санкт-Петербург. С. 3–5. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49615653&pff=1>

Авля Х.К.А., Алексеев А.С. Изучение гидротермических условий для роста лесов в Иракском Курдистане с применением материалов дистанционного зондирования Земли // Инновационное развитие современной науки: новые подходы и актуальные исследования : сб. матер. II Междунар. науч.-практич. конф. Москва, 31 января 2024 года. С. 280–286. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=61336318>

Григорьев А.А. О некоторых основных проблемах физической географии // Известия АН СССР. Сер. геогр. 1957. № 6. С. 129–132.

Григорьев А.А., Будыко М.И. О периодическом законе географической зональности // Доклады АН СССР. 1956. Т. 110. № 1. С. 129–132.

Закон Паттерсона–Векка // Хелпикс – интернет-помощник. URL: <https://helpiks.org/7-58126.html>

Ионова Е.В., Лиховидова В.А., Лобунская И.А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы) // Зерновое хозяйство России. 2019. №. 6. С. 18–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22

Кочугова Е.А. Пространственно-временная изменчивость атмосферного увлажнения на территории Бурятии в вегетационный период // Вестник Бурятского государственного университета. Биология. География. 2022. № 3. С. 33–40. DOI: 10.18101/2587-7143-2022-3-33-40

Лебедев А.В. Эмпирические модели роста и производительности древостоев по данным долговременных наблюдений : дисс. ... д-ра с.-х. наук. 2023. 425 с.

Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.И. Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 420 с.

Мелехов И.С. Лесоведение: учебник для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.

Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928. Т. 20. С. 165–177.

Benavides R., Roig S., Osoro K. Potential productivity of forested areas based on a biophysical model. A case study of a mountainous region in northern Spain // Annals of Forest Science. 2009. 66. P. 1–10. Available online at: INRA, EDP Sciences, 2009 www.afs-journal.org. DOI: 10.1051/forest/2008080

Diodato N., Bellocchi G. Spatial probability modelling of forest productivity indicator in Italy // Ecological Indicators. 2020 (108). P. 1–8. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105721>

Evarte-Bundere G., Evarts-Bunders P. Using of the hydrothermal coefficient (HTC) for interpretation of distribution of non-native tree species in Latvia on example of cultivated species of genus *Tilia* // Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis. 2012. No. 12(2). P. 135–148.

Gaznayee H.A., Al-Quraishi A.M., Al-Sulttani A.H. Drought Spatiotemporal Characteristics Based on a Vegetation Condition Index in Erbil, Kurdistan Region, Iraq // Iraqi Journal of Science. 2021. No. 24. P. 4545–4556.

Gaznayee H.A., Zaki S.H., Al-Quraishi A.M., Aliehsan P.H., Hakzi K.K., Razvanchy H.A., Riksen M., Mahdi K. Integrating Remote Sensing Techniques and Meteorological Data to Assess the Ideal Irrigation System Performance Scenarios for Improving Crop Productivity // Water Resources Research. 2023. No. 15(8). P. 1605. URL: <https://doi.org/10.3390/w15081605>.

Hägglund B. Evaluation of forest site productivity // *Forest Abstracts*. 1981. Vol 42. No. 11. P. 515–527. Review Article 42. Downloaded from <https://cabidigitallibrary.org> by 185.24.53.116, on 03/06/24

Integrated drought risk management – DRM – national framework for Iraq. An analysis report // United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Iraq Office. March 2014. 141 p. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf000022834>

Lemieux G.L. An evaluation of Paterson's CVP Index in Eastern Canada, Canada Department of Forestry, Forest Research Branch // *Technical Note*. 112. 1961. 12 p.

Palomares S.O., Serrano S. F. Mapa de productividad potencial forestal de España. Cartografía digital, Dirección General de Conservación de la Naturaleza, MMA. Madrid, 2000. 317 p.

Paterson S.S. The forest area of the world and its potential productivity. Royal University of Göteborg, Department of Geography. Göteborg, 1956. 216 p.

Rahman S., Akter S. Climate to Forest Productivity: Implication of Paterson's CVP Index // *Research Journal of Forestry*. 2015. 9 (2). P. 27–34. ISSN: 1819-3439. DOI: 10.3923/rjf.2015.27.34

Vanclay J.K. Modelling forest growth and yield. Applications to mixed tropical forests. CAB International, 1994. 312 p.

Wen-Qiang Gao, Xiang-Dong Lei, Li-Yong Fu. Impacts of climate change on the potential forest productivity based on a climate-driven biophysical model in northeastern China. *Journal of Forestry Research*, 2020, 31(6). P. 2273–2286.

References

Awla Kh.K.A., Alekseev A.S. Analiz sostoyaniya rastitel'nogo pokrova Irakskogo Kurdistana c ispol'zovaniem materialov distantsionnogo zondirovaniya zemli i GIS-tehnologij. *Tsifrovyye tekhnologii v lesnom sektore: mater. III nauch.-tekhnich. konferentsii-vebinara*, 24–25 fevralya 2022 goda. SPb., pp. 3–5. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49615653&pf=1> (In Russ.)

Awla Kh.K.A., Alekseev A.S. Izucheniye gidrotermicheskikh uslovij dlya rosta lesov v Irakskom Kurdistane s primeneniem materialov distantsionnogo zondirovaniya Zemli. *Innovatsionnoye razvitiye sovremennoy nauki: novyye podkhody I aktual'nyye issledovaniya: sb. mater. II Mezhdunar. nauch.-praktich. konferentsii*. Moskva, 31 yanvarya 2024 goda, pp. 280–286. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=61336318> (In Russ.)

Benavides R., Roig S., Osoro K. Potential productivity of forested areas based on a biophysical model. A case study of a mountainous region in northern Spain. *Annals of Forest Science*, 66, 2009, 108, pp. 1–10. Available online at: INRA, EDP Sciences, 2009 www.afs-journal.org. DOI: 10.1051/forest/2008080

Diodato N., Bellocchi G. Spatial probability modelling of forest productivity indicator in Italy. *Ecological Indicators*, 2020 (108), pp. 1–8. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105721>

Evarte-Bundere G., Evarts-Bunders P. Using of the hydrothermal coefficient (HTC) for interpretation of distribution of non-native tree species in Latvia on example of cultivated species of genus *Tilia*. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis*, 2012, no. 12(2), pp. 135–148.

Gaznayee H.A., Al-Quraishi A.M., Al-Sulttani A.H. Drought Spatiotemporal Characteristics Based on a Vegetation Condition Index in Erbil, Kurdistan Region, Iraq. *Iraqi Journal of Science*, 2021, no. 24, pp. 4545–4556.

Gaznayee H.A., Zaki S.H., Al-Quraishi A.M., Alihsan P.H., Hakzi K.K., Razvanchy H.A., Riksen M., Mahdi K. Integrating Remote Sensing Techniques and Meteorological Data to Assess the Ideal Irrigation System Performance Scenarios for Improving Crop Productivity. *Water Resources Research*, 2023, no. 15(8), pp. 1605. URL: <https://doi.org/10.3390/w15081605>.

Grigor'ev A.A. O nekotorykh osnovnykh problemakh fizicheskoy geografii. *Izvestiya AN SSSR. Ser. Geogr.*, 1957, no. 6, pp. 129–132. (In Russ.)

Grigor'ev A.A., Budyko M.I. O periodicheskom zakone geograficheskoy zonal'nosti. *Doklady AN SSSR*, 1956, vol. 110, no. 1, pp. 129–132. (In Russ.)

Hägglund B. Evaluation of forest site productivity. *Forest Abstracts*, 1981, vol 42, no 11, pp. 515–527. Review Article 42. URL: <https://cabidigitallibrary.org by 185.24.53.116, on 03/06/24>

Integrated drought risk management – DRM – national framework for Iraq. An analysis report. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Iraq Office. March 2014. 141 p. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf000022834>

Ionova E.V., Likhovidova V.A., Lobunskaya I.A. Zasukha I gidrotermicheskij koefffitsient uvlazhneniya kak odin iz kriteriev otsenki stepeni ee intensivnosti (obzor literatury). *Zernovoe khozyajstvo Rossii*, 2019, no. 6, pp. 18–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22. (In Russ.)

Kochugova E.A. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' atmosfernogo uvlazhneniya na territorii Buryatii v vegetatsionnyj period. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya. Geografiya*, 2022, no. 3, pp. 33–40. DOI: 10.18101/2587-7143-2022-3-33-40. (In Russ.)

Lebedev A.V. Ehmpiricheskie modeli rosta I proizvoditel'nosti drevostoev po dannym dolgovremennykh nablyudenij: diss. ... d-ra s.-kh. nauk. 2023. 425 p. (In Russ.)

Lemieux G.L. An evaluation of Paterson's CVP Index in Eastern Canada, Canada Department of Forestry, Forest Research Branch. *Technical Note*, 112, 1961. 12 p.

Lir Kh., Pol'ster G., Fidler G.I. Fiziologiya drevesnykh rastenij. M.: Lesn. prom-st', 1974. 420 p. (In Russ.)

Melekhov I.S. Lesovedenie: uchebnik dlya vuzov. M.: Lesn. prom-st'. 1980. 408 p. (In Russ.)

Palomares S.O., Serrano S.F. Mapa de productividad potencial 52orestall de España. Cartografía digita, Dirección General de Conservación de la Naturaleza, MMA. Madrid, 2000. 317 p.

Paterson S.S. The forest area of the world and its potential productivity. Royal University of Göteborg, Department of Geography. Göteborg, 1956. 216 p.

Rahman S., Akter S. Climate to Forest Productivity: Implication of Paterson's CVP Index. *Research Journal of Forestry*. 2015. 9 (2). P. 27–34. ISSN 1819-3439 / DOI: 10.3923/rjf.2015.27.34

Selyaninov G.T. O sel'skokhozyajstvennoj otsenke klimata. *Trudy po sel'skokhozyajstvennoj meteorologii*, 1928, vol. 20, pp. 165–177. (In Russ.)

Vancly J.K. Modelling forest growth and yield. Applications to mixed tropical forests. CAB International, 1994. 312 p.

Wen-Qiang Gao, Xiang-Dong Lei, Li-Yong Fu. Impacts of climate change on the potential forest productivity based on a climate-driven biophysical model in northeastern China. *Journal of Forestry Research*. 2020. 31(6). P. 2273–2286.

Zakon Pattersona–Vekka. *Helpiks – internet-pomoshchnik*. URL: <https://helpiks.org/7-58126.html> (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 05.04.2024

Авля Харди Какакхан Авла, Алексеев А.С. Оценка потенциала роста лесов в Иракском Курдистане на основе анализа метеоклиматических данных // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 249. С. 38–54. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.38-54

Установлено, что индексы CVP и ГТК, определяющие потенциальную продуктивность растительного покрова, в том числе и лесов, на изучаемой территории имеют высокую годовую изменчивость для всех рассмотренных районов. Средние коэффициенты вариации индексов CVP и ГТК равны 38,5 и 48,4%, соответственно. Изучение изменений индексов по годам показало наличие линейной тенденции (тренда) к их увеличению за изучаемый период. Более выражена тенденция к увеличению индекса CVP. Графики изменений индексов показали наличие значительных случайных колебаний (отклонений) индексов от трендов. Случайный характер колебаний проверен с помощью медианного теста. Для расчетов потенциального прироста древесной растительности на основе литературных данных получено уравнение связи величины прироста и индекса CVP с высоким коэффициентом детерминации, равным 94,5%. С помощью этого уравнения проведены расчеты потенциального прироста древесной растительности для всех районов на изучаемой территории. Расчеты показали, что в результате высокой изменчивости индексов CVP и ГТК по годам изучаемого периода (1995–2021 гг.) потенциальная продуктивность

лесов на изучаемой территории составляет в среднем $0,7 \text{ м}^3/\text{га}\cdot\text{год}$. В благоприятные годы максимальные значения прироста могут достигать $1,5 \text{ м}^3/\text{га}\cdot\text{год}$, а в неблагоприятные прирост может падать до нуля, ставя таким образом древесную растительность на грань выживания. Установлена прямая пропорциональная связь между величинами индексов CVP и ГТК с коэффициентом детерминации 86,0% для изучаемой территории, что позволяет использовать один индекс вместо другого в случае такой необходимости. В целом, гидротермические условия для роста лесов в районе г. Эрбиль следует оценить как неблагоприятные.

Ключевые слова: температура, осадки, индекс Патерсона, CVP, гидротермический коэффициент, ГТК, прирост.

Awla Hardy Kakakhan Avla, Alekseev A.S. Assessment of the forests growth potential in Iraqi Kurdistan based on the analysis of hydro meteorological data. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2024, iss. 249, pp. 38–54 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.38-54

It was found that the CVP and HTC indices, which determine the potential productivity of vegetation cover, including forests, in the studied area, have high annual variability for all the considered districts. The average coefficients of variation of the CVP and HTC indices are 38.5 and 48.4%, respectively. The study of changes in indices over the years showed the presence of a linear trend towards their increase over the period under study. The tendency to increase the CVP index is more pronounced. The graphs of index changes showed the presence of significant random fluctuations (deviations) of indices from trends. The random nature of the fluctuations was verified using a median test. To calculate the potential growth of forests based on the literature data, an equation was obtained for the relationship between the growth rate and the CVP index with a high coefficient of determination equal to 94.5%. Using this equation, calculations of the potential growth of wood volume for all areas in the study area were carried out. Calculations have shown that as a result of the high variability of the CVP and HTC indices over the years of the studied period (1995–2021), the potential productivity of forests in the studied area is on average $0.7 \text{ м}^3/\text{га}\cdot\text{year}$. In favorable years, the maximum growth values can reach $1.5 \text{ м}^3/\text{га}\cdot\text{year}$, and in unfavorable years, the increase can fall to zero, thus putting woody vegetation on the brink of survival. A direct proportional relationship has been established between the values of the CVP and HTC indices with a determination coefficient of 86.0% for the studied territory, which allows using one index instead of the other if necessary. In general, the hydrothermal conditions for forest growth in the Erbil region area should be assessed as unfavorable.

Keywords: temperature, precipitation, Paterson index, CVP, hydrothermal coefficient, HTC, forest growth.

Авла Харди Какакхан Авла – аспирант кафедры лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. ORCID: 0009-0004-5115-8286.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: hardy.awla@su.edu.krd

Awla Hardy Kakakhan Awla – PhD student of the Department of Forest Inventory, Management and Geoinformation Systems St.Petersburg State Forest Technical University. ORCID: 0009-0004-5115-8286.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: hardy.awla@su.edu.krd

АЛЕКСЕЕВ Александр Сергеевич – заведующий кафедрой лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор географических наук, профессор. ORCID: 0000-0001-8795-2888, SPIN-код: 8115-9103, Web of Science Researcher ID: F-6891-2010, Scopus Author ID: 55892224800.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: a_s_alekseev@mail.ru

ALEKSEEV Aleksandr S. – DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Forest Inventory, Management and Geographical Information Systems, St.Petersburg State Forest Technical University. ORCID: 0000-0001-8795-2888, SPIN-код: 8115-9103, Web of Science Researcher ID: F-6891-2010, Scopus Author ID: 55892224800

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: a_s_alekseev@mail.ru