

## Выделение породного состава древесно-кустарниковой растительности по данным воздушного лазерного сканирования на примере Анапской пересыпи (Черное море)

А. В. Карагян \*, С. В. Крыленко

*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Геленджик, Россия*

*\*e-mail: karagyan.arsen@yandex.ru*

### Аннотация

Цель работы – тестирование методики выделения растительности по породному составу по данным воздушного лазерного сканирования с автоматическим определением геометрических атрибутивных данных. В статье рассматривается взаимосвязь между геометрическими параметрами древесно-кустарниковой растительности и ее породным составом. Точность идентификации корреляции параметров позволяет автоматизировать выделение породного состава. Тем самым упрощается процесс инвентаризации растительности по породному составу на территории. В качестве полигона для отработки методики выбрана территория, расположенная на Анапской пересыпи. В процессе работы были проведены натурные измерения и полевая дешифровка данных аэрофотосъемки. Были сопоставлены данные машинной обработки и полевых измерений, рассчитаны показатели корреляции между породным составом и геометрическими атрибутивными данными растительности. На основе значений корреляции предложены удостоверяющие коэффициенты породы. Помимо этого, в процессе работы была рассчитана ошибка, возникающая при автоматической обработке данных воздушного лазерного сканирования, определены количественные показатели растительности по породному составу, определены средние значения высот растительности по породам на территории Анапской пересыпи.

**Ключевые слова:** лазерное сканирование, Анапская пересыпь, автоматизация, растительность

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 20-17-00060 «Современный этап эволюции песчаных аккумулятивных форм Азово-Черноморского побережья России».

**Для цитирования:** Карагян А. В., Крыленко С. В. Выделение породного состава древесно-кустарниковой растительности по данным воздушного лазерного сканирования на примере Анапской пересыпи (Черное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 3. С. 93–103. doi:10.22449/2413-5577-2022-3-93-103

© Карагян А. В., Крыленко С. В., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

# Identification of the Species Composition of Tree and Shrub Vegetation according to Airborne Laser Scanning Data of the Anapa Bay-Bar (Black Sea)

A. V. Karagyan \*, S. V. Krylenko

*Shirshov Institute of Oceanology RAS, Gelendzhik, Russia*

*\*e-mail: karagyan.arsen@yandex.ru*

## Abstract

The article aims at testing a method for automatic identification of vegetation by species composition according to airborne laser scanning data with automatic determination of geometric attribute data. The article discusses the relationship between the geometric parameters of tree and shrub vegetation and its species composition. Accurate identification of the correlation of parameters allows automating the selection of species composition. This simplifies the process of inventorying vegetation by species composition on the territory. The work was based on the method of automatic identification of vegetation according to airborne laser scanning data with automatic determination of geometric attribute data. An area located on the Anapa Bay-Bar was chosen as a testing ground for the method of automatic identification of vegetation by species composition. During the work, field measurements and field interpretation of aerial photography data were carried out. The data from machine processing and field measurements were compared, the correlation indicators between the species composition and the geometric attribute data of vegetation were calculated. Based on the correlation values, verifying coefficients of the species are proposed. In addition, during the work, the error that occurs during automatic processing of airborne laser scanning data was calculated, quantitative indicators of vegetation by species composition were calculated, and average values of vegetation heights by species on the territory of the Anapa Bay-Bar were determined.

**Keywords:** laser scanning, Anapa Bay-Bar, automation, vegetation

**Acknowledgements:** this work was funded by the Russian Science Foundation under project no. 20-17-00060 “The modern stage of the evolution of sandy accumulative forms of the Azov-Black Sea coast of Russia”.

**For citation:** Karagyan, A.V. and Krylenko, S.V., 2022. Identification of the Species Composition of Tree and Shrub Vegetation according to Airborne Laser Scanning Data of the Anapa Bay-Bar (Black Sea). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (3), pp. 93–103. doi:10.22449/2413-5577-2022-3-93-103

## Введение

В рамках комплексных исследований геосистемы Анапской пересыпи возникла необходимость в разработке метода моделирования растительности исследуемого участка.

На современном этапе развития науки и лесного хозяйства лазерное сканирование широко используется для определения различных параметров лесных массивов. С помощью лазерного сканирования возможно определять рельеф подстилающего грунта, высоту и качество древостоя. Подобные методы в дальнейшем обретут важное практическое значение.

Однако в основном данные методы разрабатываются для сплошных лесных массивов с однотипным древостоем. Для изучения разреженной растительности, особенно приморской, они практически не применяются.

Актуальность работы обусловлена слабой адаптацией методов лазерного сканирования для автоматического определения породы в разреженных неоднородных массивах, характерных для Черноморского побережья [1].

Модель растительности Анапской пересыпи сформирована на основе данных воздушного лазерного сканирования, при этом она не ограничивалась трехмерной сценой или плоской картой [2]. В модель входила локализация растительности с необходимыми атрибутивными данными. В процессе исследования построена инвентаризационная карта растительности Анапской пересыпи, однако она не информативна с точки зрения установления породы куста или дерева. Растительность выделялась условно по высоте. Растения, которые не превышали 1.5 м, относились к кустам, а те, что превышали, – к деревьям [3]. Дальнейшие исследования показали, что подобные выделения влекут за собой ошибку [4]. Эта ошибка влияет на точность полученных карт и данных. С помощью методики автоматического выделения растительности [5] по данным лазерного сканирования можно получить достаточно точные атрибутивные данные, состоящие из параметров высоты и радиуса проективного покрытия кроны. Имея такие данные и зная связь между ними, можно определить породный состав автоматически, подкрепляя это математическим обоснованием и полевыми наблюдениями. В связи с этим целью данной работы является тестирование методики автоматического определения породы растительности по данным лазерного сканирования.

#### **Материалы и методы**

Воздушное лазерное сканирование территории Анапской пересыпи проводилось в 2013–2015 гг. Для апробирования методики автоматического определения породы древесной растительности был выбран наиболее типичный для Анапской пересыпи участок, на котором доминируют такие виды древесной растительности, как лох узколистный (*Elaeagnus angustifolia* L.) и тамарикс ветвистый (*Tamarix ramosissima* Ledeb.) [6]. На основе аллометрической корреляции между параметрами и породой растительности при точной идентификации дерева и куста можно отследить связь между их местоположением и различными геологическими процессами непосредственно на месте произрастания.

Полевые данные включали результаты натуральных измерений параметров и идентификации породы растительности на исследуемой территории. Исследуемый участок расположен в центральной части Витязевской пересыпи к востоку от прибрежных застроек станицы Благовещенской (рис. 1). Площадь территории, на которой проводились полевые работы, составила более 1 км<sup>2</sup>. С помощью мерной вилки и мерной ленты были определены значения длины окружности ствола для дальнейшего сопоставления в пределах выборки.

Выделение растительности проводилось в программной среде *ENVILiDAR* с помощью встроенного алгоритма автоматического определения растительности. Алгоритм выделяет из облака точек те, которые соответствуют установленному шаблону и заданному пользователем параметру высоты [6]. Параметры высоты, которые использовались для определения растительности:

- от 1.5 до 8 м для лоха узколистного;
- от 0.5 до 3 м для тамарикса ветвистого.



Р и с . 1 . Территория полевых измерений и наблюдений

F i g . 1 . Territory of field measurements and observations

Следует отметить, что в литературных источниках [8] с описанием растительности, произрастающей на территории Анапской пересыпи, показано, что максимальная высота лоха узколистного 3–4 м. Однако полевые исследования показали другой результат для данной территории: средняя высота дерева составляла 5 м.

В результате машинного анализа точек лазерного сканирования и полевых измерений растительности на характерном участке был собран материал для сопоставления и оценки параметров для выявления связи между растительности. Значение длины окружности ствола стало ключевым параметром, на основе которого рассчитывался коэффициент породы.

В процессе установления наиболее влиятельных связей вычислялась корреляция по формуле Спирмена [9]

$$\rho = 1 - \frac{6}{n(n-1)(n+1)} \sum_{i=1}^n (R_i - S_i)^2, \quad (1)$$

где  $R_i$  – ранг наблюдения  $x_i$  в ряду  $x$ ;  $S_i$  – ранг наблюдения  $y_i$  в ряду  $y$ .

Коэффициент принимает значения от  $-1$  до  $1$ . Равенство  $\rho = 1$  указывает на строгую прямую линейную зависимость,  $\rho = -1$  – на обратную [9].

Атрибутивные данные, полученные в результате автоматического выделения растительности, были экспортированы в табличном виде. Важно отметить, что результаты полевых измерений также внесены в атрибутивную таблицу. Таким образом, получился статистический ряд данных с презентабельной выборкой. Выборка состояла из 65 ед. растительности с измеренными длинами окружности ствола, а общее количество древесно-кустарниковой растительности составило 225 ед., включая выборку.

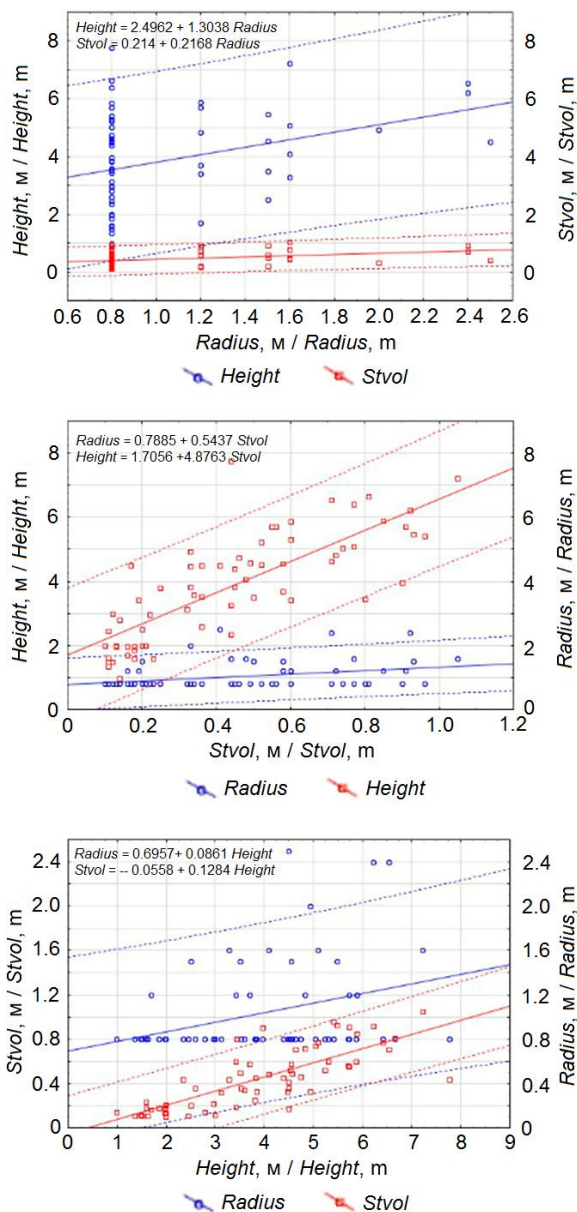


Рис. 2. Графики корреляции параметров растительности

Fig. 2. Graphs of the correlation of vegetation parameters

оказалась формула  $(h \cdot l_{\text{ствола}}) / r$ , где  $h$  – высота;  $l$  – длина ствола в окружности;  $r$  – радиус проективного покрытия кроны. Коэффициенты существенно различались. Таким образом, средний коэффициент породы лох узколистный составил 2.62, а породы тамарикс ветвистый – 0.34.

Атрибутивные данные были обработаны при помощи программного обеспечения *Statistic 10.8*. В результате обработки была получена наглядная картина взаимосвязей аллометрических параметров растительности. Корреляция рассчитывалась для параметров морфометрии растительности, а именно: длины окружности ствола, радиуса проективного покрытия и высоты растительности (на графиках «*Stvol*», «*Radius*», «*Height*» соответственно) (рис. 2).

Графики, показанные на рис. 2, демонстрируют взаимосвязь между высотой растения и длиной ствола в окружности. На рис. 3 продемонстрированы исходные параметры растительности в виде таблицы корреляционных показателей.

Анализ данных в таблице, представленной на рис. 3, показал, что присутствует высокий коэффициент корреляции (0.82) между длиной окружности ствола и высотой. Это говорит о том, что есть прямая связь между этими параметрами. Исходя из этого, была предпринята попытка расчета индивидуального коэффициента растения.

Расчет проводился эмпирическим путем, в результате которого наиболее точной

Pair of Variables	Spearman Rank Order Correlations (treedata in treedata) MD pairwise deleted Marked correlations are significant at p < .05000			
	Valid N	Spearman R	t(N-2)	p-value
Height & Height				
Height & Radius	66	0.309924	2.60779	0.011328
Height & stvol	66	0.826275	11.73549	0.000000
Radius & Height	66	0.309924	2.60779	0.011328
Radius & Radius				
Radius & stvol	66	0.374145	3.22758	0.001970
stvol & Height	66	0.826275	11.73549	0.000000
stvol & Radius	66	0.374145	3.22758	0.001970
stvol & stvol				

Рис. 3. Пример отображения параметров корреляции в программе *Statistic 10.8*

Fig. 3. Example of presentation of correlation parameters in *Statistic 10.8* software

Однако в ходе моделирования возникла проблема. Если при стандартной классификации кусты выделялись исключительно по высоте условно, то в данном случае полевые исследования показали, что высота отдельного куста могла быть выше используемых по умолчанию 1.5 м, но при этом не достигала 3 м. Данная трудность была преодолена путем распределения пород, помимо коэффициента, по значениям длины окружности ствола. Полевые исследования показали, что даже при максимальной высоте тамарикса ветвистого длина окружности его ствола составляла не более 0.2 м. Это помогло решить проблему попадания двух пород в одну категорию [10].

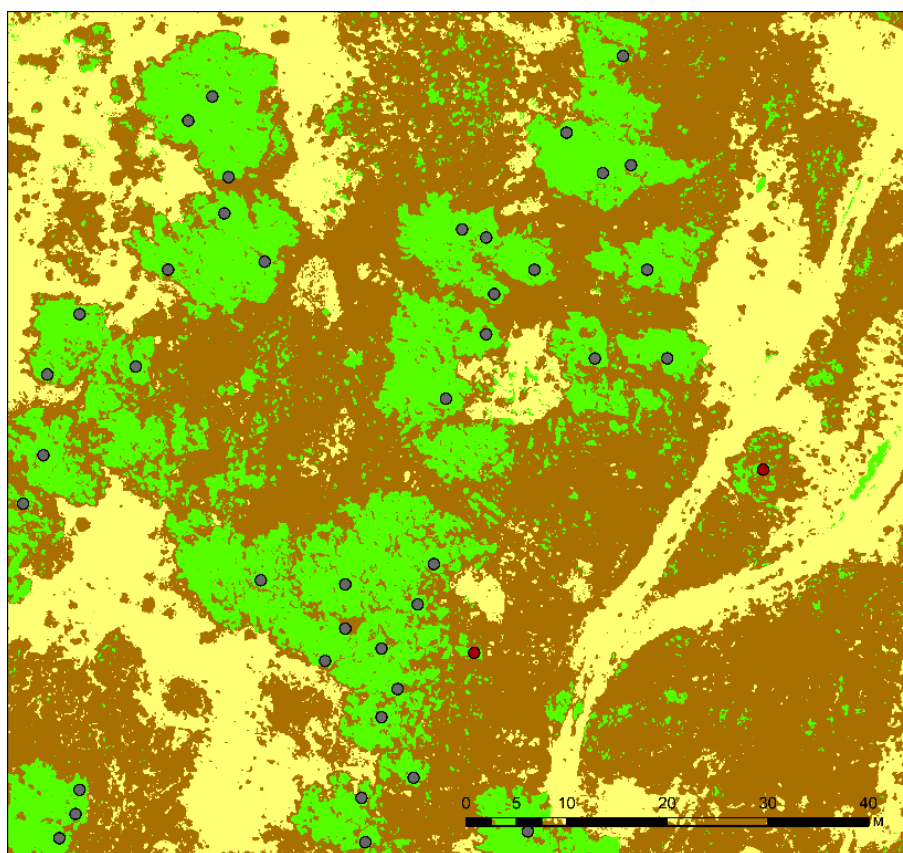
Дальнейшим этапом стала камеральная дешифровка [11]. Для расчета погрешности нужно точно представлять, какое количество единиц растительности определено неверно. Процесс расчета погрешности проводился вручную [12]. Анализ показал, что при автоматическом определении пород из 2559 ед. растительности были ошибочно атрибутированы 230 ед., что составляет примерно 9%. Следовательно, можно утверждать, что данная методика позволяет с 91%-ной точностью автоматически определять породный состав древесно-кустарниковой растительности.

Помимо этого, проводился анализ соответствия полученного *shape*-файла с вегетационным индексом, чтобы исключить изначальную ошибку формирования модели [13]. Несоответствий не было выявлено. Таким образом, были установлены величины ошибок.

### Результаты

На основе предложенной методики автоматизации выделения растительности по породному составу по данным лазерного сканирования составлена карта полигона исследования. Выделены участки с древесно-кустарниковой растительностью, травянистой растительностью и участки, лишенные растительности.

На рис. 4 изображен фрагмент полигона исследования. На карте показаны выделенные участки. К территории, лишенной растительности, в основном отнесены грунты или пески, которые покрывают пересыпь.



- Лох узколистый / *Elaeagnus angustifolia* L.
- Тамарикс ветвистый / *Tamarix ramosissima* Ledeb.
- Древесно-кустарниковая растительность / Tree and Shrub Vegetation
- Участки, лишённые растительности / Areas without Vegetation
- Травянистая растительность / Herbaceous Vegetation

Р и с . 4 . Растительность и участки полигона исследования

Fig . 4 . Vegetation and areas of the study testing area

На рис. 5 показано расположение точек, отображающих геодезический центроид проекции растительности по породному составу древесно-кустарниковой растительности, которая определена методом коррелирующих коэффициентов, полученных в результате данной работы <sup>1)</sup>.

По итогам дешифрирования снимка установлено, что разработанный алгоритм, встроенный в *ENVI LiDAR*, определил 2239 ед. растительности, из которых 95 % определены программой как лох узколистый. Оставшиеся 5 % отнесены к тамариксу ветвистому. Однако следует учитывать, что данные требуют дополнительной верификации [14].

<sup>1)</sup> Берлянт А. М. Картография : Учебник для вузов. М. : Аспект Пресс, 2002. 336 с.

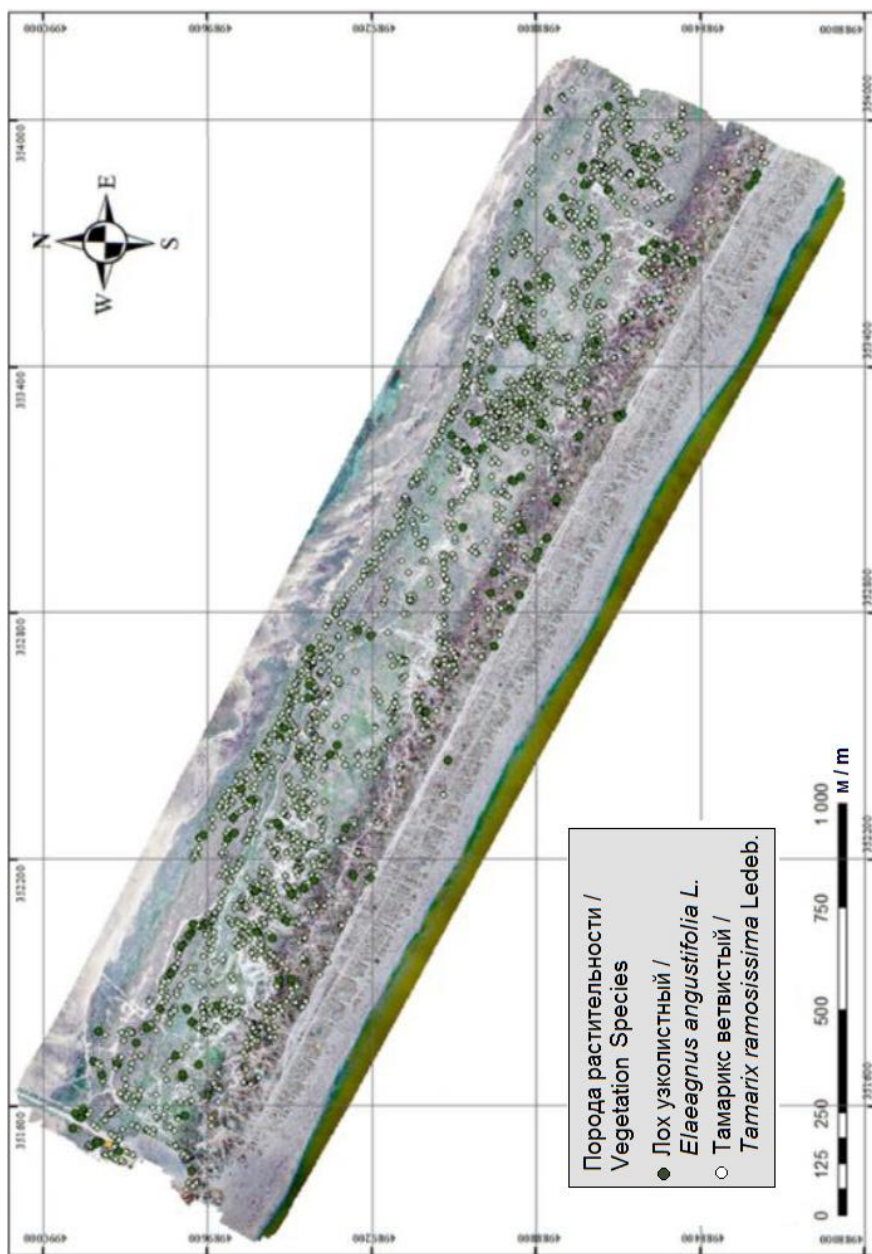


Рис. 5. Карта полигона исследования с точками растительности

Fig. 5. Map of the study area with vegetation points



В работе для территории исследования достоверно определены средние значения параметров растительности. Установлено, что средняя высота тамарикса ветвистого составляет 1.75 м, а лоха узколистного – ровно 5 м. Общая площадь покрытия растительностью на исследуемом участке – 20 351 м<sup>2</sup>, при площади полигона исследования 2.17 км<sup>2</sup> (2 170 000 м<sup>2</sup>). Это говорит о том, что территория, покрытая древесно-кустарниковой растительностью, занимает лишь 1 % от общей площади территории исследования, где преобладает лох узколистный.

Анапская пересыпь – уникальная, охраняемая государством геосистема, в формировании которой большую роль играет произрастающая на ней растительность. Она является индикатором различных геологических, почвенных и биологических процессов. Использование методики автоматического выделения растительности, а также пород по ключевым параметрам показало, что можно идентифицировать растительность с получением атрибутивных данных. Однако неизвестно, как повлияют размер выборки и дифференциация породного состава на алгоритм. При малых размерах выборки этот метод использовать целесообразно, но при больших объемах данных возможно снижение точности.

#### **Заключение**

1. Опробована методика выделения растительности по породному составу с его автоматическим определением по данным воздушного лазерного сканирования.
2. Определены индивидуальные коэффициенты пород растительности.
3. Составлены карты соответствия пород растительности и вегетационного индекса.
4. Установлено, что на территории произрастает в основном лох узколистный.
5. Установлено, что территория, занятая древесно-кустарниковой растительностью, занимает 1 % от общей площади.

Преимущество методики автоматического выделения породного состава растительности по данным лазерного сканирования заключается в скорости и точности проведения подобного рода работ. С применением автоматического метода выделения растительности появляется возможность использовать атрибутивные статические данные для получения корреляции между параметрами. В результате поставленные задачи были решены и получены необходимые показатели для автоматического выделения растительности по породному составу.

Таким образом, можно сделать вывод, что лазерное сканирование как метод получения пространственной информации полезен не только для построения цифровых моделей рельефа, но и в таких специфичных отраслях, как геоинформатика, дендрология, биология и ботаника.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Boyko E., Krylenko V., Krylenko M.* LIDAR and airphoto technology in the study of the Black Sea accumulative coasts // *Proceedings of SPIE. Paphos, Cyprus, 2015. Vol. 9535 : Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment.* 95351Q. doi:10.1117/12.2192577
2. *Ткачева А. А., Фаворская М. Н.* Моделирование трехмерных сцен лесных участков по данным лазерного сканирования и аэрофотоснимкам // *Информационно-управляющие системы.* 2015. № 6. С. 40–49. <https://doi.org/10.15217/issn1684-8853.2015.6.40>
3. *Бойко Е. С., Караган А. В.* Цифровое моделирование древесно-кустарниковой растительности аккумулятивных берегов по данным воздушного лазерного сканирования // *Вестник СГУГиТ.* 2021. Т. 26, № 2. С. 103–114. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2021-26-2-103-114>
4. *Данилин И. М., Фаворская М. Н.* Описание программных модулей использования данных лазерной локации и цифровой аэрофотосъемки лесных территорий // *Исследование Земли из космоса.* 2013. № 2. С. 62–73. <https://doi.org/10.7868/S0205961413020024>
5. *Мельник И. В., Дроздова А. Е.* Лох серебристый как индикатор качества среды // *Экологические проблемы природных и урбанизированных территорий : материалы IX Международной научно-практической конференции, Астрахань, 24–25 мая 2018.* Астрахань : Астраханский государственный университет, 2018. С. 38–42.
6. *Косьян Р. Д., Крыленко В. В., Крыленко М. В.* Геосистема Анапской пересыпи. М. : Научный мир, 2021. 262 с.
7. *Попов Р. А., Алтынцев М. А.* Влияние плотности точек воздушного лазерного сканирования на выделение отдельных деревьев // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013 : IX Международный научный конгресс и выставка, Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г. : сборник материалов.* Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. С. 83–87.
8. *Improving distribution models of riparian vegetation with mobile laser scanning and hydraulic modelling / T. Nylen [et al.] // PLoS ONE.* 2019. Vol. 14, iss. 12. e0225936. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225936>
9. *Использование современных аэросъемочных технологий в интересах лесного хозяйства / И. М. Данилин [и др.] // ГЕО-Сибирь-2008 : сборник материалов IV Международного научного конгресса.* Новосибирск : СГГА, 2008. Т. 2, ч. 1. С. 209–213.
10. *Кравцова В. И., Фалалева А. А., Чалова Е. Р.* Картографирование морфологически контрастных районов Благовещенского участка Анапской пересыпи по космическим снимкам высокого разрешения // *Геодезия и картография.* 2014. № 10. С. 25–36. doi:10.22389/0016-7126-2014-892-10-25-36
11. *Рыльский И. А.* Подходы к определению таксационных показателей леса с использованием аэрокосмических снимков и лазерного сканирования // *ИнтерКарто. ИнтерГИС.* 2018. Т. 24, № 2. С. 216–240. <http://doi.org/10.24057/2414-9179-2018-2-24-216-240>
12. *Новаковский Б. А., Ковач Н. С., Энтин А. Л.* Геоинформационные технологии использования воздушного лазерного сканирования для решения географических и картографических задач // *Геодезия и картография.* 2014. № 7. С. 44–48.
13. *Стариков А. В., Батурич К. В.* Применение лазерного сканирования в технологии учета древесины // *Лесотехнический журнал.* 2015. Т. 5, № 4. С. 114–122. <https://doi.org/10.12737/17409>

14. Мягков В. Ф. О геостатистике при геометризации месторождений // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2008. № 1. С. 54–65.

Поступила 20.12.2021 г.; одобрена после рецензирования 28.05.2022 г.; принята к публикации 06.07.2022 г.; опубликована 26.09.2022 г.

*Об авторах:*

**Карагян Арсен Ваагнович**, инженер, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Южное отделение (353467, Россия, Краснодарский край, Геленджик, ул. Просторная, д. 1Г), **ORCID ID: 0000-0001-9673-9114**, **ResearcherID: ABG-5516-2020**, *karagyan.arsen@yandex.ru*

**Крыленко Сергей Вячеславович**, инженер, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Южное отделение (353467, Россия, Краснодарский край, Геленджик, ул. Просторная, д. 1Г), **ORCID ID: 0000-0003-0411-8455**, **ResearcherID: ABG-5398-2020**, *krylenkoserg@mail.ru*

*About the authors:*

**Arsen V. Karagyan**, Engineer, Shirshov Institute of Oceanology RAS (1G Prostorная St., Gelendzhik, 353467, Russian Federation), **ORCID ID: 0000-0001-9673-9114**, **ResearcherID: ABG-5516-2020**, *karagyan.arsen@yandex.ru*

**Sergey V. Krylenko**, Engineer, Shirshov Institute of Oceanology RAS (1G Prostorная St., Gelendzhik, 353467, Russian Federation), **ORCID ID: 0000-0003-0411-8455**, **ResearcherID: ABG-5398-2020**, *krylenkoserg@mail.ru*

*Заявленный вклад авторов:*

**Карагян Арсен Ваагнович** – постановка задачи, обработка данных, расчет коэффициентов, создание модели, полевые наблюдения и измерения

**Крыленко Сергей Вячеславович** – полевые наблюдения и измерения, полевая дешифровка пород деревьев, описание параметров для создания модели

*Contribution of the authors:*

**Arsen V. Karagyan** – task statement, data processing, coefficient calculation, model development, field observations and measurements

**Sergey V. Krylenko** – field observations and measurements, field interpretation of tree species, parameter description for model development

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*All the authors have read and approved the final manuscript.*