

УДК [528.9:633/635]+629.7:528.721.221.6
DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-2-103-114

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ АККУМУЛЯТИВНЫХ БЕРЕГОВ ПО ДАННЫМ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Евгений Сергеевич Бойко

Кубанский государственный университет, 350040, Россия, Краснодар, ул. Ставропольская, 149, кандидат географических наук, доцент, тел. (918)120-10-21, e-mail: boykoes@yandex.ru

Арсен Ваагнович Карагян

Южное отделение Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, 353467, Россия, г. Геленджик, ул. Просторная, 1, бакалавр, техник, тел. (906)435-94-12, e-mail: karagyan.arsen@yandex.ru

Данная статья посвящена исследованию древесно-кустарниковой растительности Анапской пересыпи, оказывающей непосредственное воздействие на формирование ландшафтов и в том числе влияющей на процессы аккумуляции и переноса вещества. Материалы воздушного лазерного сканирования позволили выполнить моделирование и автоматизированный учет всех деревьев и кустарников. Был выполнен их количественный и качественный анализ. Территория исследования разделена на участки в зависимости от характера ландшафтов и растительности. Путем обработки данных лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки были построены цифровые модели каждого дерева и кустарника выше 0,7 м. Для выделенных участков с точностью до каждого дерева подсчитано количество всех элементов и рассчитана проективная площадь растительности. В результате исследования апробирована методика выделения древесно-кустарниковой растительности с автоматическим получением атрибутивной информации о высоте и диаметре крон растительности.

Ключевые слова: Анапская пересыпь, воздушное лазерное сканирование, цифровое моделирование растительности, точки лазерного отражения, аккумулятивные берега

Введение

Цель исследования – апробация технологии автоматизированного выделения деревьев и кустарников по данным воздушного лазерного сканирования на основе материалов аэросъемки Анапской пересыпи.

Основными задачами данной работы являются получение статистических и атрибутивных данных о древесно-кустарниковой растительности, минимизация ручной обработки данных, формирование основы для дальнейшего мониторинга состояния древесно-кустарниковой растительности на исследуемых участках, выбор метода автоматизированного моделирования кустарниково-древесной растительности и определение породного состава.

Лазерное сканирование обеспечивает дистанционную оценку состояния и динамики изменения лесных ресурсов с высокой точностью и эффективностью при минимуме наземных работ и значительной экономии времени, финансовых средств [1].

Инвентаризация зеленых насаждений с использованием традиционной геодезии (тахеометрическая съемка) – весьма затратный процесс, особенно если речь идет о десятках и сотнях квадратных километров территории и значительном количестве объектов. Данные спутниковых снимков позволяют получить фоновые сведения о состоянии зеленых насаждений по оценкам удельной фитомассы. На практике требуются данные об объектах озеленения с точностью до отдельного дерева в составе соответствующего объекта (парка, сквера и т. п.). При этом объекты озеленения зачастую имеют сложную внутреннюю структуру и неоднородный состав, что дополнительно усложняет их описание [2].

Материалы лазерных съемок дают возможность исследовать не только морфометрию и морфологию рельефа, динамику изменения береговой зоны, микроформ рельефа и процессы, ее обуславливающие. Данное исследование посвящено древесно-кустарниковой растительности, произрастающей на изу-

чаемой территории и оказывающей непосредственное воздействие на формирование ландшафтов, влияющей на процессы аккумуляции и переноса вещества.

Материалы и методы

Анапская пересыпь простирается на 47 км в виде узкой песчаной полосы на побережье Черного моря в его северо-восточной части от южной оконечности Таманского полуострова до мыса Анапский. Она представляет собой аккумулятивную песчаную форму, отделяющую от Черного моря систему лиманов и озер, некогда бывших морскими заливами –

оз. Соленое, лиманы Бугазский (Кизилташский), Витязевский, Анапские плавни [3].

В 2013 г. в рамках изучения Анапской пересыпи впервые были выполнены работы по воздушному лазерному сканированию и цифровой аэрофотосъемке [4]. Площадь аэрофотосъемки составила 48 км², ширина залета колебалась от 500 до 1 500 м, в зависимости от конфигурации берега (рис. 1). Съемка была выполнена с помощью комплекса воздушного картографирования производства Leica Geosystems, состоящего из воздушного лазерного сканера ALS70 CM и цифровой среднеформатной аэрофотокамеры RCD-30.

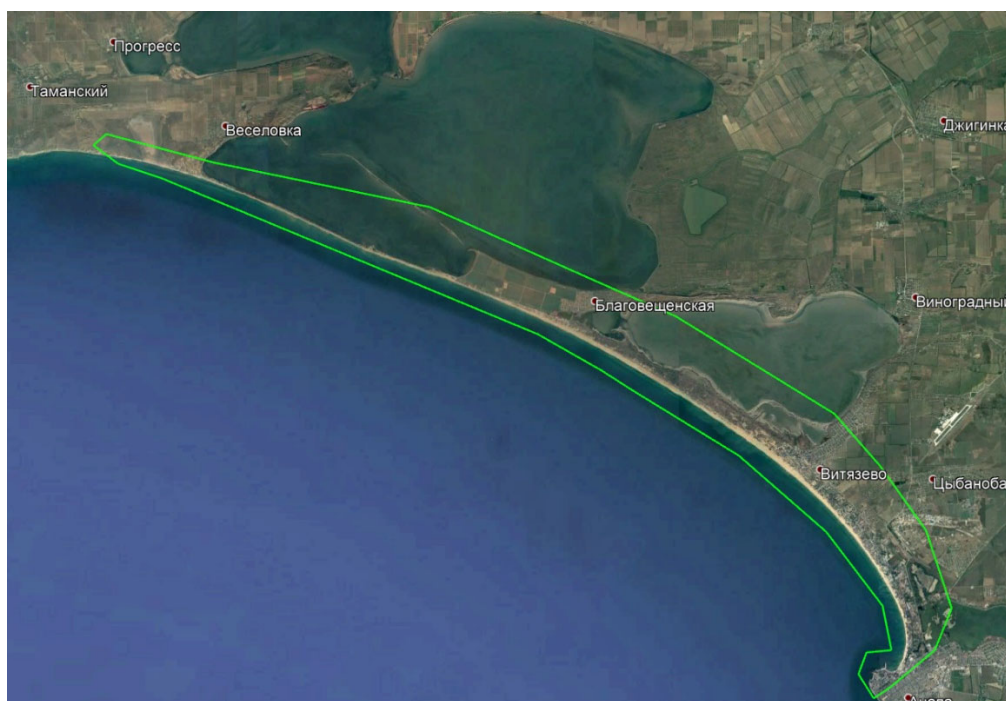


Рис. 1. Проективное покрытие аэрофотосъемочными данными территории Анапской пересыпи

Количество измерений (точек лазерного отражения) составило более 640,5 млн. Средняя плотность съемки составила более 20 точек на квадратный метр суши [5]. Количество цифровых аэрофотоснимков – 465. Пространственное разрешение цифровых аэрофотоснимков составило 10 см.

Позднее, в 2015 г., были выполнены повторные работы по лазерному сканированию, а в последующие годы на отдельных участках пересыпи проводился мониторинг с помощью беспилотных летательных аппаратов [6].

Выбор программного обеспечения для обработки материалов лазерного сканирования является важной составляющей, зачастую определяющей дальнейшие методы и способы интерпретации данных.

В данном исследовании в качестве основного был использован программный модуль ENVI LiDAR [7], позволяющий выполнять высокоточное моделирование объектов растительности и получать атрибутивную информацию о размере проективного покрытия крон и высоте деревьев (рис. 2).

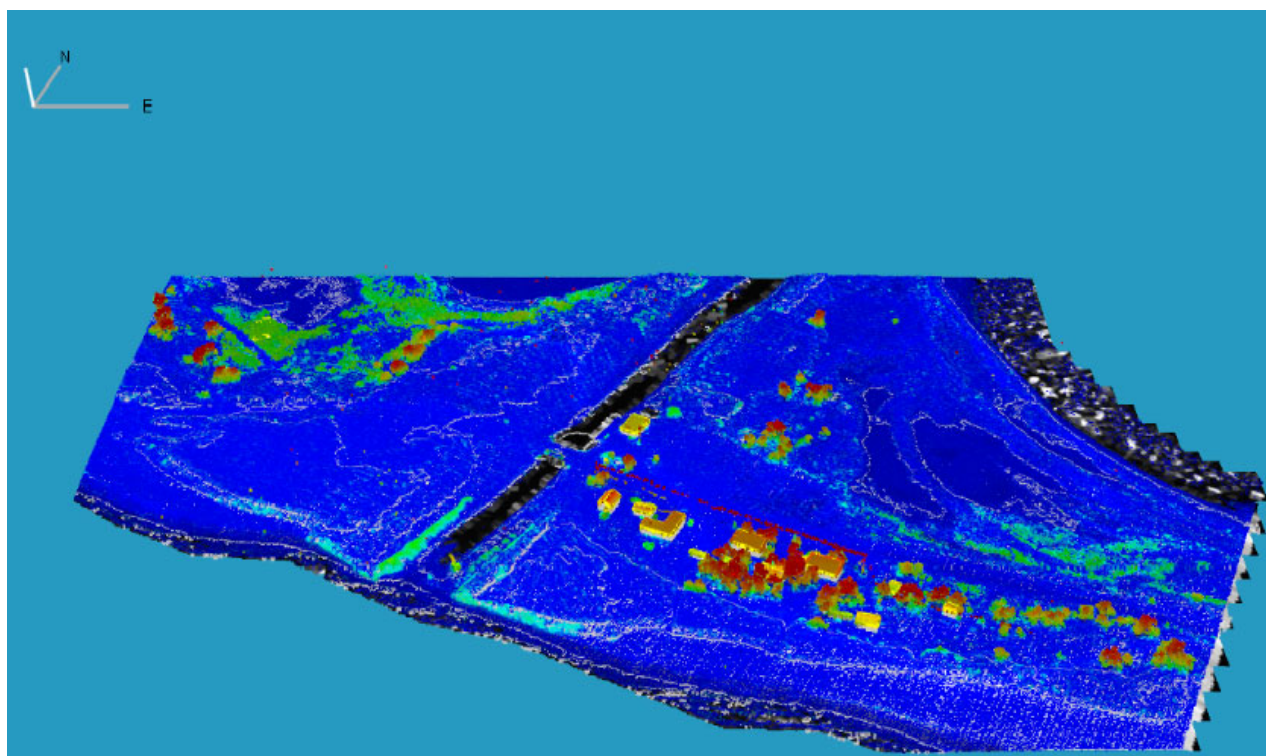


Рис. 2. Отображение лазерных данных в ENVI LiDAR

В качестве альтернативного программного обеспечения рассматривался модуль TerraScan [8], работающий в среде MicroStation от группы Bentley. В нашем случае функциональности этой программы было недостаточно. Главное отличие между этими программами заключается в предварительной подготовке лазерных данных. Для поставленной задачи, а именно автоматического определения древесно-кустарниковой растительности, подготовка данных в TerraScan предусматривает отдельную процедуру выполнения работ в ручном режиме с материалами лазерного сканирования, что занимает много времени при подобных нашему исследованию объемах данных. Для выделения кустарниково-древесной растительности в TerraScan необходимо вручную задать группировки точек, которые в дальнейшем будут обрабатываться автоматизированно. В отличие от TerraScan, ENVI LiDAR не требует дополнительных ручных манипуляций с данными, что значительно облегчает работу и ускоряет процесс. Для обработки данных и выделения растительности обе программы применяют схожие алгоритмы. Это соответствие параметров метрики объек-

тов (высота относительно земли) и геометрическое подобие [7, 8].

Соответствие параметров метрики объектов представляет собой пользовательские настройки перед обработкой данных, а именно, определение интервалов высотных и радиусных значений. При использовании этой технологии для исследования Анапской пересыпи применялись установки с учетом параметров растительности для данной природной зоны. В учет не бралась травянистая растительность. Опытным путем, в результате нескольких экспериментов, с последующим контролем по ортофотоплану и непосредственно на местности, был подобран минимальный порог учета растительности по высоте 0,7 м и по радиусу 0,8 м. Верхнего предела по высоте как такового не было для учета всех деревьев, в том числе и лесополос, а по радиусу пределом было взято значение 5,5 м. Такие цифры были выбраны для того, чтобы группы кустарников не были оставлены незамеченными программой.

Геометрическое подобие подразумевает соответствие крайних замыкающих точек шаблонному варианту, который можно установить вручную или использовать предлагаемый про-

граммой по умолчанию. Геометрическое подобие было использовано стандартное (рис. 3).

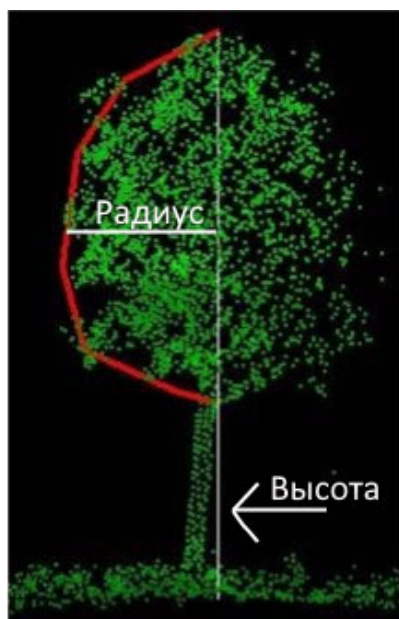


Рис. 3. Фрагмент установки геометрического подобия точек лазерного сканирования (ТЛО)

Процесс моделирования [9] заключался в классификации лазерных данных с выделением классов земли, растительности, строений и прочих объектов. Затем была выполнена автоматизированная векторизация выделенных классов с присвоением атрибутивной информации в зависимости от метрических характеристик тех или иных объектов, входящих в класс. Для древесной растительности был сформирован точечный файл (shape-файл) с информацией о высоте каждого выделенного дерева и проективном диаметре кроны, записанной в таблицу. На основе векторных данных происходило построение трехмерных моделей для визуализации и анализа результатов.

Несмотря на отлаженную работу алгоритмов ENVI LiDAR, в процессе обработки были обнаружены фактические ошибки, которые были устранены вручную, однако доля этих ошибок в общей массе обработанных данных весьма низкая и практически не повлияла на ход работы. Общее количество деревьев, полученных после обработки данных воздушного лазерного сканирования

(ВЛС) для всей территории, площадью 48 км², составило 29 773 единиц, из которых примерно 350–500 единиц (1,6 %) были ошибочными. Они были исправлены вручную или удалены.

В ряде работ, выполненных ранее в России и за рубежом, было показано, что точность оценки древесного запаса и биомассы леса, в том числе методами авиационного зондирования, можно повысить до 5–7 % с использованием морфологической классификации и аллометрических взаимосвязей между размерами деревьев [10]. Решением повышения эффективности инвентаризации лесных насаждений является применение не только воздушных, но и наземных лазерных сканеров (НЛС) [11].

Результаты

Общая длина участков 33 км, средняя ширина 450 м от берега Черного моря. Граница вдоль морского берега проводилась по береговому валу. Площадь исследуемой территории составляет 1 505,5 га [12]

На основе ортофотопланов [13] и ландшафтно-морфологического деления, описанных в работах В. И. Кравцовой, Е. Р. Чаловой и В. В. Крыленко [14, 15], были выделены характерные участки (рис. 4). Цель выделения участков – установление взаимосвязей между ландшафтами, формами рельефа и характеристиками преобладающей растительности. Природный ландшафт изобилует деталями, но все их многообразие сводится к различным комбинациям топографических (рельеф) и почвенно-растительных условий и сообществ, расположенных на различных видах подстилающих пород [16]. Таким образом, на территории Анапской пересыпи были выделены 10 характерных участков:

- зона коренного берега: поверхность коренного берега Таманского полуострова на северо-западе исследуемой территории, возвышающаяся над пляжем на 20 м;
- оползневая зона: клиф коренного берега Таманского полуострова с активным протеканием оползневых процессов [3];
- берег оз. Солёное. Небольшая пересыпь длиной в 1,5 км между оз. Солёное

с северо-востока и берегом Черного моря с юго-запада [3] выделена в отдельную зону по отсутствию древесно-кустарниковой растительности;

– п. Веселовка. Зона антропогенного воздействия. Проведение границ участка проводилось вдоль береговой линии и по муниципальной границе поселка;

– Бугазская пересыпь – одна из главных исследуемых зон. Омывается водами Бугазского лимана и водами Черного моря;

– переходная зона, юго-восточный участок Бугазской пересыпи площадью 44 га, на котором происходит смена зоны песчаных дюн к зоне бугристых песков и к зоне антропогенного воздействия;

– Благовещенский останец. Поверхность коренного берега Благовещенского останца, возвышающаяся над пляжем на 20 м [3] и расположенная в центральной части исследуемой территории;

– аккумулятивная терраса. Территория аккумулятивной террасы, примыкающей к Благовещенскому останцу и ст. Благовещенской. Участок отличается высокой антропогенной нагрузкой;

– Витязевская пересыпь, омываемая Витязевским лиманом и Черным морем [15];

– зона лесополос. Участок расположен на поверхности коренного берега Благовещенского останца и был выбран как пример растительного комплекса искусственного происхождения.

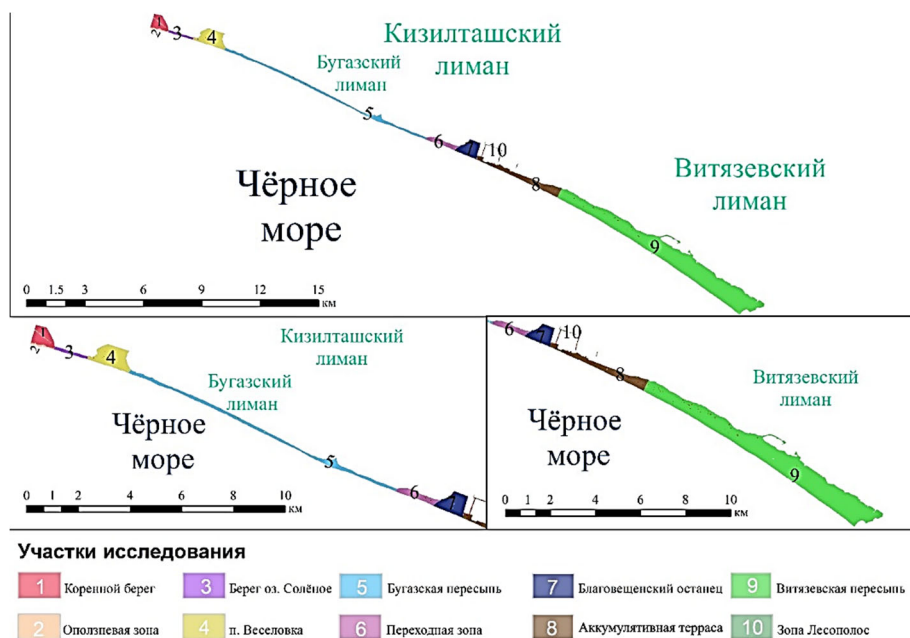


Рис. 4. Характерные участки исследования, выделенные на основе ландшафтно-морфологического деления территории

Результатом работы над инвентаризацией древесно-кустарниковой растительности стали данные о каждом дереве и кустарнике высотой более 0,7 м. Приведены показатели для всей исследуемой территории, включая береговую линию черноморского побережья от западного берега оз. Соленое до юго-восточной оконечности Анапской пересыпи.

Полученные данные были сгруппированы следующим образом:

– деревья выше 7 м – 10 684 единиц;

– деревья со средней высотой от 1,5 м до 7 м – 18 771 единиц;

– кусты высотой от 0,7 м до 1,5 м – 318 единиц.

Приведенное деление является довольно условным и ориентировано на распределение растительности по относительной высоте [17].

Общее число деревьев и кустарников для выделенных участков на по данным съемки 2013 г. составила 13 829 единиц, из которых 3 671 единица – высокие деревья, 9 913 единиц – деревья со средней высотой, 245 еди-

ниц – кусты. Количественная ошибка составила 1,8 %.

На всех участках были посчитаны площади покрытия растительностью [15]. Расчет производился на основании полученных параметров радиуса кроны дерева или куста. Полученные показатели приведены в таблице.

Для зоны «Коренной берег» были получены количественные показатели:

- высокие деревья – 21 единица;
- деревья со средней высоты – 85 единиц;
- кусты – 0 единиц.

Площадь высоких деревьев для этих участков составила 0,064 га, площадь деревьев со средней высотой – 0,196 га, площадь кустов на участке равна нулю. Площадь зоны исследования – 53,367 га; средняя высота растительности составила 5,5 м.

Таблица

Распределение древесно-кустарниковой растительности по участкам исследования

Участки исследования	Высокие деревья (ед.)	Деревья со средней высотой (ед.)	Кусты (ед.)	Площадь участка исследования (га)	Площадь покрытия древесно-кустарниковой растительностью (га)	Процент покрытия древесно-кустарниковой растительностью (%)
Коренной берег	21	85	0	53,367	0,260	0,487
Оползневая зона	0	22	1	5,243	0,062	1,186
Берег оз. Соленое	0	1	0	16,234	0,005	0,030
п. Веселовка	57	279	53	101,801	0,802	0,787
Бугазская пересыпь	36	475	40	139,954	1,047	0,748
Переходная зона	69	440	68	40,346	0,591	1,464
Благовещенский останец	59	109	3	75,024	0,832	1,109
Аккумулятивная терраса	805	1 246	10	125,701	8,801	7,002
Витязевская пересыпь	748	6 952	70	947,970	15,925	1,680
Зона лесополос	1 876	304	0	9,944	5,702	57,346

На участке «Оползневая зона» получились следующие показатели:

- высокие деревья – 0 единиц;
- деревья со средней высотой – 22 единицы;
- кусты – 1 единица.

Для зоны «Коренной берег» были получены количественные показатели:

- высокие деревья – 21 единица;
- деревья со средней высоты – 85 единиц;
- кусты – 0 единиц.

Площадь высоких деревьев для этих участков составила 0,064 га, площадь деревьев со средней высотой – 0,196 га, площадь кустов на участке равна нулю. Площадь зоны исследования – 53,367 га; средняя высота растительности составила 5,5 м.

На участке «Оползневая зона» получились следующие показатели:

- высокие деревья – 0 единиц;
- деревья со средней высотой – 22 единицы;
- кусты – 1 единица.

Площади соответственно: высокие деревья – 0 га, деревья со средней высотой – 0,061 га, кусты – 0,001 га. Средняя высота деревьев – 4,5 м.

Несмотря на активные оползневые процессы, на данном участке присутствует древесная растительность, что было подтверждено в ходе полевых наблюдений (рис. 5).



Рис. 5. Древесная растительность (лох серебристый [19]) на оползневом участке Анапской пересыпи, 2020 г.

Особый интерес вызвала зона «Берег оз. Соленое», на котором почти полностью отсутствует растительность с установленными параметрами. На территории присутствует одно дерево средней высоты, которое поддерживает свое существование под влиянием антропогенного фактора. На участке присутствует скудная травянистая растительность высотой не более 0,3 м, что отчетливо видно на ортофотоплане.

«П. Веселовка» – первая зона антропогенного происхождения, площадь которой составляет 101,801 га (рис. 6). Полученные результаты:

- высокие деревья – 57 единиц;
- деревья со средней высотой – 279 единиц;
- кусты – 53 единицы.

Площадь высоких деревьев на данной зоне составляет 0,281 га, деревьев со средней высотой – 0,494 га, площадь кустов – 0,026 га. Средняя высота деревьев 4,4 м.

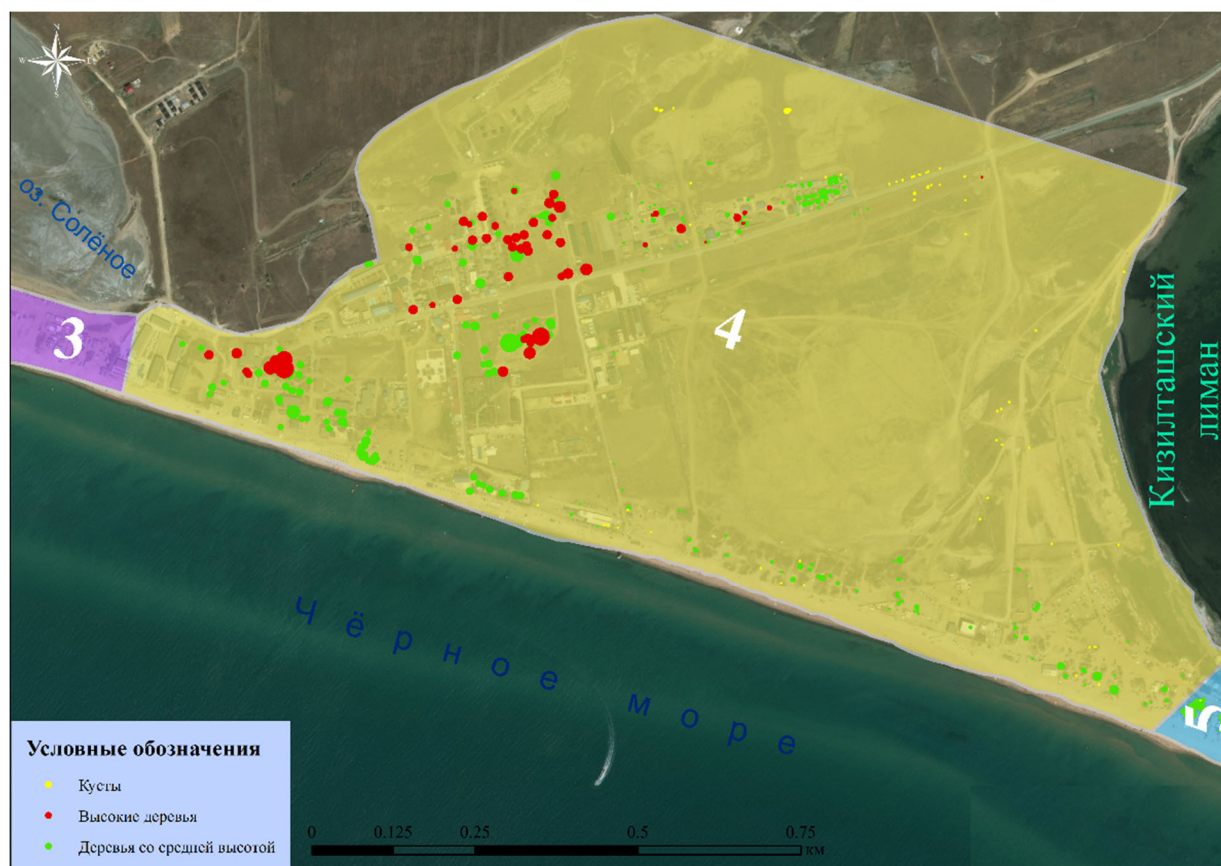


Рис. 6. Распределение древесно-кустарниковой растительности на участке п. Веселовка

«Бугазская пересыпь» является очень привлекательным для туризма объектом, именно поэтому она испытывает сильную антропогенную нагрузку. Несмотря на это, на ней сохранилась растительность в естественном виде. Полученные параметры на участке площадью 139,954 га:

- высокие деревья – 36 единиц;
- деревья со средней высотой – 475 единиц;
- кусты – 40 единиц.

Площадь высоких деревьев – 0,145 га, площадь деревьев со средней высотой – 0,884 га,

площадь кустов – 0,018 га. Средняя высота древесно-кустарниковой растительности на косе составляет 4,25 м.

Переходная зона, расположенная между Бугазской косой и клифом Благовещенского останца [20], интересна слиянием различных ландшафтов и искусственных антропогенных сооружений (рис. 7).

Показатели на переходной зоне:

- высокие деревья – 69 единиц;
- деревья со средней высотой – 440 единиц;
- кусты – 68 единиц.

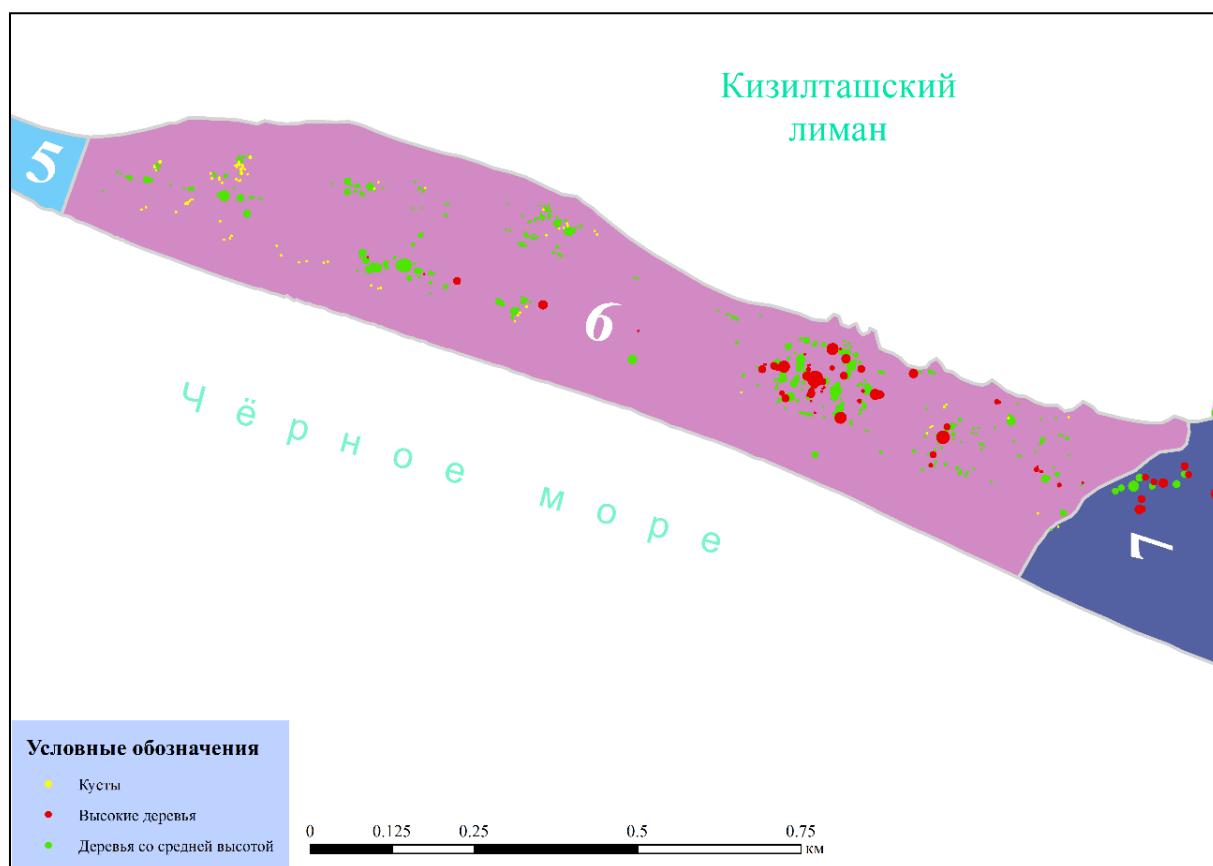


Рис. 7. Распределение древесно-кустарниковой растительности на участке переходной зоны

Площадь высоких деревьев на участке – 0,154 га, площадь деревьев со средней высотой – 0,406 га, а кусты разрослись на 0,030 га, средняя высота – 4,31 м. Площадь самой зоны 40,346 га.

«Благовещенский останец» – второй участок коренного берега, характеризующийся следующими показателями:

- высокие деревья – 59 единиц;
- деревья со средней высоты – 109 единиц;
- кусты – 3 единицы.

Площадь всего участка составляет 75,024 га. Площадь высоких деревьев – 0,372 га, деревьев со средней высотой – 0,459 га. Площадь кустов – 0,001 га.

Ширина зоны «Аккумулятивная терраса» у ст. «Благовещенская» в среднем составляет 200 м от береговой линии. Площадь исследуемой зоны составляет 125,701 га. Количество растительности:

- высокие деревья – 805 единиц;
- деревья со средней высотой – 1 246 единиц;

– кусты – 10 единиц.

Площадь высоких деревьев – 4,462 га, деревьев со средней высотой – 4,335 га, кустов – 0,004 га.

Зона лесополос выделена как отдельный участок и состоит из нескольких полигонов, охватывающих полосы древесных насаждений. Общая площадь отдельных полигонов в сумме составляет 10 га. На выделенной зоне:

- высокие деревья – 1 876 единиц;
- деревья со средней высотой – 304 единицы;
- кусты – 0 единиц.

Средняя высота деревьев на участке – 8,1 м. Площадь высоких деревьев – 5,336 га, площадь деревьев со средней высотой – 0,366 га, кусты отсутствуют. Площадь всего участка – 9,944 га.

Ландшафт участка «Витязевская пересыпь» площадью в 947,970 га представлен в основном песчаными дюнами с редкой растительностью, в том числе и древесно-кустарниковой:

- высокие деревья – 748 единиц;

– деревья со средней высотой – 6 952 единицы;

– кусты – 70 единиц.

Средняя высота деревьев на участке – 4,49 м. Площадь покрытия высокими деревьями – 3,459 га, деревьями со средней высотой – 12,412 га, кустами – 0,054 га.

Выводы

В результате выполненных исследований была апробирована методика выделения древесно-кустарниковой растительности на основе обработки материалов воздушного лазерного сканирования и последующего создания цифровых векторных моделей элементов растительного покрова. Получены качественные и количественные характеристики древесно-кустарниковой растительности для Анапской

пересыпи с детальностью до каждого дерева, сформирована основа для дальнейшей инвентаризации деревьев и кустарников. Выделены 10 характерных участков с различными ландшафтными условиями и проведено моделирование растительности для данных участков. Установлено, что среднее проективное покрытие для всех участков за исключением зоны лесополос составляет 1,6 %, однако варьируется от практически полного ее отсутствия на участке берега оз. Солёного, до 7 % на участке аккумулятивной террасы у ст. «Благовещенская». Зона лесополос имеет покрытие в 57,4 %. Полученные данные могут являться основой для последующих исследований динамики изменения растительного покрова и ландшафтов, а также изучения влияния растительного покрова на устойчивость ландшафтов аккумулятивных берегов Черноморского побережья.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ №20-17-00060 в рамках проекта «Современный этап эволюции песчаных аккумулятивных форм Азово-Черноморского побережья России» с использованием материалов, полученных при финансовой поддержке РФФИ (проект №18-05-00333).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилин И. М., Медведев Е. М., Капралова Е. Н., Пестов К. А. Использование современных аэро съемочных технологий в интересах лесного хозяйства // ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 5 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.). – Новосибирск : СГГА, 2008. Т. 2, ч. 1. – С. 209–213.
2. Погорелов А. В., Брусило В. А., Граник Н. В. Моделирование объектов озеленения города по данным мобильного лазерного сканирования // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2018. – Т. 24, № 2. – С. 5–17.
3. Кравцова В. И., Фалалеева 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.
4. Михеева А. А., Ялтыхов В. В., Парадня П. Ф. Аэро съемка с беспилотного летательного аппарата // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F. Строительство. Прикладные науки. – 2018. – № 16. – С. 135–142.
5. Попов Р. А., Алтынцев М. А. Влияние плотности точек воздушного лазерного сканирования на выделение отдельных деревьев // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 83–87.
6. Boyko E., Krylenko V., Krylenko M. LIDAR and airphoto technology in the study of the Black Sea accumulative coasts // 3rd International conferences on remote sensing and geoinformation of the environment. Book Series: Proceedings of SPIE. – 2015. – Vol. 9535. – P. 95351Q. DOI: 1117/12.2192577.
7. L3 Harris Geospatial documentation center [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.harrisgeospatial.com/docs/using_envi_lidar_Home.html.
8. TERRASCAN USER GUIDE [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.terrasolid.com/guides/tscan/index.html>.
9. Ткачева А. А., Фаворская М. Н. Моделирование трехмерных сцен лесных участков по данным лазерного сканирования и аэрофотоснимкам // Информационно-Управляющие Системы. – 2015. – № 6 (79). – С. 40–49.

10. Данилин И. М., Данилин А. И., Свищев Д. А. Лазерная локация и цифровая аэрофотосъемка – подспутниковый компонент в системе информационного обеспечения инвентаризации, мониторинга и кадастра лесных земель // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. – 2010. – № 3 (29). – С. 55–59.
11. Стариков А. В., Батулин К. В. Применение лазерного сканирования в технологии учета древесины // Лесотехнический журнал. – 2015. – № 4. – С. 114–122.
12. Косьян Р. Д., Крыленко В. В. Современное состояние морских аккумулятивных берегов Краснодарского края и их использование. – М. : Научный мир, 2014. – 256 с.
13. Широкова Т. А., Антипов А. В. Методика создания ортофотопланов с применением данных воздушного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2010. – Вып. № 2 (13). – С. 24–30.
14. Kravtsova V., Tutubalina O., Krylenko V., Krylenko M., Chalova E. Mapping the Anapa bay bar geosystems on the basis of satellite remote sensing and ground data // 3rd International Conferences on remote sensing and geoinformation of the environment. Book Series: Proceedings of SPIE. – 2015. – Vol. 9535. – P. 95351X. DOI: 10.1117/12.2193682.
15. Кравцова В. И., Чалова Е. Р. Картографирование ландшафтно-морфологической структуры Витязевской пересыпи по космическим снимкам высокого разрешения // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 1. – С. 65–73.
16. 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.
17. Жердев В. Н., Баранович Д. А., Черемисинов А. Ю. Количественный подход при картографировании лесов на основе данных зондирования земли // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2014. – № 3 (15). – С. 149–157.
18. 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.
19. Мельник И. В., Дроздова А. Е. Лох серебристый как индикатор качества среды // Экологические проблемы природных и урбанизированных территорий. – Астрахань : Астраханский государственный университет, 2018. – С. 38–42.
20. Волкова Т. А., Кондрашина М. К. Современное состояние Бугазской косы // Региональные географические исследования. – Краснодар : Кубанский государственный университет, 2020. – С. 339–343.

Получено 01.10.2020

© Е. С. Бойко, А. В. Карагян, 2021

DIGITAL MODELING OF TREE AND SHRUB VEGETATION OF ACCUMULATIVE SEASHORE BASED ON AIR LASER SCANNING DATA

Evgeny S. Boyko

Kuban State University, 149, Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russia, Ph. D., Associate Professor, phone: (918)120-10-21, e-mail: boykoes@yandex.ru

Arsen V. Karagyan

The Southern Branch of the P. P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, 1, Prostornaya St., Gelendjik, 353467, Russia, Bachelor Student, Technician, phone: (906)435-94-12, e-mail: karagyan.arsen@yandex.ru

This article is devoted to the study of tree and shrub vegetation of the Anapa-bay bar, which has a direct impact on the formation of landscape, and affects the processes of accumulation and transfer of matter. The materials of air laser scanning made it possible to perform automated calculation of all trees and shrubs. Their quantitative and qualitative analysis was performed. The study area is divided into sections depending on the nature of the landscape and vegetation. By processing laser scanning data and digital aerial photography, digital models of each tree and shrub above 0.7 m were constructed. For the selected areas, the number of all elements and the area of vegetation is calculated up to each tree. As a result, of the study, the method of

software selection of tree and shrub vegetation with automatic receipt of attribute information about the height and diameter of vegetation crowns was tested.

Keywords: Anapa bay-bar, aerial laser scanning, digital modeling of vegetation, laser reflection points, accumulative seashore

REFERENCES

1. Danilin, I. M., Medvedev, E. M., Kapralova, E. N., & Pestov, K. A. (2008). Use of modern aerial survey technologies in the interests of forest management. In *Sbornik materialov GEO-Sibir-2008: T. 2, ch. 1 [Proceedings of GEO-Siberia-2008: Vol. 2, Part 1]* (pp. 209–213). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
2. Pogorelov, A. V., Brusilo, V. A., & Granik, N. V. (2018). Modeling of urban landscaping objects based on mobile laser scanning data. *InterKarto. InterGIS*, 24(2), 5–17 [in Russian].
3. Kravtsova, V. I., Falaleeva, A. A., & Chalova, E. R. (2014). Morphologically contrasting areas of the Blagoveshchensk section of the Anapa Bay-bar using high-Resolution satellite images. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 10, 25–36 [in Russian].
4. Mikheeva, A. A., Yaltykhov, V. V., & Paradnya, P. F. (2018). Aerial photography from an unmanned aerial vehicle. *Vestnik Polotskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya F. Stroitelstvo. Prikladnye nauki [Bulletin of Polotsk State University. Series F. Construction. Applied Sciences]*, 16, 135–142 [in Russian].
5. Popov, R. A., & Altyntsev, M. A. (2013). Influence of point density airborne laser scanning in the selection of individual trees. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Distantionnye metody zondirovaniya Zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchey sredy, geoekologiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: Remote Sensing Methods of the Earth and Photogrammetry, Environmental Monitoring, Geoecology]* (pp. 83–87). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
6. Boyko, E., Krylenko, V., & Krylenko, M. (2015). LIDAR and airphoto technology in the study of the Black Sea accumulative coasts. *3rd International Conferences on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment. Book Series: Proceedings of SPIE, 9535*, P. 95351Q. DOI: 1117/12.2192577.
7. L3 Harris Geospatial documentation center. (n. d.). Retrieved from https://www.harrisgeospatial.com/docs/using_envi_lidar_Home.html.
8. TERRASCAN USER GUIDE. (n. d.). Retrieved from <http://www.terrasolid.com/guides/tscan/index.html>.
9. Tkacheva, A. A., & Favorskaya, M. N. (2015). Modeling of three-dimensional scenes of forest areas based on laser scanning data and aerial photographs. *Informatsionno-Upravlyayushchie Sistemy [Information and Control Systems]*, 6(79), 40–49 [in Russian].
10. Danilin, I. M., Danilin, A. I., & Svishev, D. A. (2010). Laser location and digital aerial photography – subsatellite component in the system of information support for inventory, monitoring and cadastre of forest lands. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika M. F. Reshetneva [Bulletin of the Reshetnev Siberian State Aerospace University]*, 3(29), 55–59 [in Russian].
11. Starikov, A. V., & Baturin, K. V. (2015) Application of laser scanning in wood accounting technology. *Lesotekhnicheskiiy zhurnal [Forest Engineering Journal]*, 4, 114–122 [in Russian].
12. Kosyan, R. D., & Krylenko, V. V. (2014). *Sovremennoe sostoyanie morskikh akkumulyativnykh beregov Krasnodarskogo kraya i ih ispolzovanie [Current state of marine accumulative coasts of the Krasnodar territory and their use]*. Moscow: Scientific World Publ., 256 p. [in Russian].
13. Shirokova, T. A., & Antipov, A. V. (2010). Method of creating orthophotoplanes using air laser scanning data. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(13), 24–30 [in Russian].
14. Kravtsova, V., Tutubalina, O., Krylenko, V., Krylenko, M., & Chalova, E. (2015). Mapping the Anapa bay bar geosystems on the basis of satellite remote sensing and ground data. *3rd International Conferences on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment. Book Series: Proceedings of SPIE, 9535*, P. 95351X. DOI: 10.1117/12.2193682
15. Kravtsova, V. I., & Chalova, E. R. (2015) Mapping the landscape morphological structure Vityazevsky of the sand bar on satellite images of high resolution. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 1, 65–73 [in Russian].
16. Danilin, I. M., & Favorskaya, M. N. (2013) Description of software modules for the use of laser location data and digital aerial photography of forest territories. *Issledovanie Zemli iz kosmosa [Exploration of the Earth from Space]*, 2, 62–73 [in Russian].

17. Zherdev, V. N., Baranovich, D. A., & Cheremisinov, A. Yu. (2014). Quantitative approach to forest mapping based on earth sensing data. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii [Scientific Journal of the Russian Scientific Research Institute of Land Improvements Problems]*, 3(15), 149–157 [in Russian].
18. Novakovsky, B. A., Kovach, N. S., & Entin, A. L. (2014). Geoinformation technologies for using air laser scanning for solving geographical and cartographic problems. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 7, 44–48 [in Russian].
19. Melnik, I. V., & Drozdova, A. E. (2018). Silver Loch as an indicator of environmental quality. In *Ekologicheskie problemy prirodnykh i urbanizirovannykh territoriy [Environmental Problems of Natural and Urbanized Territories]* (pp. 38–42). Astrakhan: Astrakhan State University Publ. [in Russian].
20. Volkova, T. A., & Kondrashina, M. K. (2020). Sovremennoe current state of the Bugaz Spit. In *Regionalnye geograficheskie issledovaniya [Regional Geographical Research]* (pp. 339–343). Krasnodar: Kuban State University Publ. [in Russian].

Received 01.10.2020

© E. S. Boyko, A. V. Karagyan, 2021