

## ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 911.2

К.Н. Дьяконов<sup>1</sup>**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПОЛОЖЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ ЛЕСА НА ЭКВАТОРИАЛЬНО-ТРОПИЧЕСКИХ ОСТРОВАХ ТИХОГО И ИНДИЙСКОГО ОКЕАНОВ**

На основании материалов шести рейсов по изучению островов в экваториально-тропическом поясе Тихого и Индийского океанов и литературных данных установлена совместная роль факторов высоты, площади острова и циркуляции атмосферы, определяющих высотную границу лесного пояса. Выше зоны туманных лесов преобладают два варианта ландшафтов: папоротниково-влажно-луговой (на склонах, обращенных к воздушным потокам пассатной циркуляции) и сухих кустарников, аналогов субтропических маквисов, расположенных выше верхней границы пассатов или на подветренных склонах. Верхняя граница в первом случае обусловлена постоянно высокими значениями относительной влажности воздуха, достигающей 95–100%. Установлена логарифмическая зависимость высоты верхней границы лесной зоны от площади острова. Последняя определяет степень трансформации морских воздушных масс, поступающих на острова, поверхность которых характеризуется удельной теплоемкостью в четыре–пять раз меньшей, чем у воды и обуславливает в дневные часы большую долю затрат энергии на турбулентный теплообмен подстилающей поверхности с атмосферой. Поэтому на малых островах уровень конденсации влаги ниже, чем на больших, а процесс фотосинтеза у древесных растений либо заторможен, либо не происходит.

*Ключевые слова:* физико-географическая высотная поясность, площадь, высота острова, трансформация воздушных масс, относительная влажность воздуха

**Введение. Состояние проблемы.** Геофизическая сущность широтной зональности была доказана А.А. Григорьевым и М.И. Будыко [1956]. Сложнее обстоит вопрос о геофизической сущности высотной поясности (зональности). Общепринято, что снижение температуры воздуха с высотой примерно  $0,6^\circ$  на 100 м – главный фактор этой планетарной закономерности. Но, начиная с исследований А. Гумбольдта в Южной Америке, стало очевидным, что не менее важную роль играют атмосферные осадки, которые возрастают до определенной высоты в зависимости от климатического пояса, а затем снижаются. А в чем же заключается специфика высотной поясности на экваториально-тропических островах?

Прежде всего обратимся к становлению и развитию теории островной биогеографии, которая в середине XX в. была одним из крупнейших достижений этой науки [MacArthur, Wilson, 1967; Simberloff, 1976; Пианка, 1981 и др.]. Первое эмпирическое положение гласит: число видов живых организмов на острове прямо пропорционально площади острова. Другим, пожалуй, важнейшим положением островной биогеографии выступает теория динамического равновесия, согласно которой число видов на острове – результат одновременно протекающих процессов: иммиграции и вымирания. На основании этого положения с учетом ряда других, были намечены контуры теории эволюционных этапов

формирования фауны и климаксовых сообществ, отражающих эволюционное равновесие.

Однако уже к середине 1970-х годов появились работы, в которых авторы отмечали, что на число видов влияет не столько размер острова, сколько разнообразие местообитаний [Mühlenberg et al., 1977; Williamson, 1981; Haila, 1983 и др.]. На наш взгляд, это принципиально важное уточнение: *разнообразие отдельных видов определяется разнообразием ландшафтной структуры*. Позже Г.М. Длусский [Пузаченко и др., 1994] отметил, что эволюционный раздел теории островной биогеографии нельзя считать строго обоснованным ввиду недостаточного фактического материала. Но думается дело не только в его недостатке. *Построение теории островной биогеографии должно опираться и на теорию островного ландшафтоведения (ОЛ)*.

Теория ОЛ берет начало с 1970-х годов, когда по инициативе К.К. Маркова и А.П. Капицы Тихоокеанским институтом географии АН СССР была организована комплексная экспедиция в юго-западную часть тропической зоны Тихого океана. В составе экспедиции на НИС «Дмитрий Менделеев» был ландшафтный отряд, который возглавлял Г.М. Игнатъев. С 1976 по 1990 годы рейсы по изучению экваториально-тропических островов осуществлялись в рамках международной биологической программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера», проект № 7 «Экосистемы островов и их рациональное использование». Всего было

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, зав. кафедрой, чл.-корр. РАН, профессор; e-mail: diakonov.geofak@mail.ru

организовано пять рейсов, где ландшафтными исследованиями руководили Ю.Г. Пузаченко (1976/77 и 1980 гг.) и К.Н. Дьяконов (1984, 1987 и 1990 гг.).

Генеральная цель ландшафтных исследований в указанных экспедициях – развитие теории ОЛ (как составной части ландшафтоведения), то есть подтверждение гипотез или ранее установленных закономерностей на ограниченном числе островов.

Как ни странно, но до сих пор не полностью сформулированы основные методологические и теоретические положения ОЛ как целостного учения. Тема статьи не предусматривает подробное рассмотрение этой проблемы. Однако логично показать место вопроса о специфике высотной поясности на экваториально-тропических островах в контексте общей теории ОЛ.

В конспективной форме теория ОЛ включает следующие положения и разделы. 1. Методологическая база – теория нуклеарных (ядерных) геосистем–хорионов [Ретеюм, 1988]. Островная суша – ядро, которое находится в системе прямых и обратных связей с окружающей водной массой и литоралью. 2. При изучении пространственно-временной организации геосистем острова необходимо основываться на ряде методологических положений, одним из которых выступает принцип дополнительности В.Н. Солнцева – мозаичность, ориентированность и биоциркуляционность. 3. Важнейшими внешними факторами формирования геосистем островов являются: степень изоляции (удаленность от материка), специфика циркуляции атмосферы и количество атмосферных осадков, радиационный баланс, тектоника, геологическая история. 4. Факторы, обуславливающие структуру, функционирование и эволюцию островных геосистем, присущие острову: его площадь и высота над уровнем моря; время аэрального существования (развития); сочетание различных типов морфолитогенеза, локальные и региональные показатели экспозиции и крутизны склонов. 5. Проблему пространственно-временной организации геосистем островов (основное содержание ОЛ) можно частично считать решенной, если составлены ландшафтные карты островов и разработана как классификация островов, так и классификация геосистем разного пространственного масштаба. Благодаря исследованиям на тропических островах и в Северной Пацифике Г.М. Игнатьева, Ю.Г. Пузаченко, К.Н. Дьяконова, А.Н. Иванова [Иванов, 2009, 2014] была доказана применимость использования принципов общепринятой классификации ландшафтов, разработанных советскими учеными Н.А. Гвоздецким, А.Г. Исаченко, В.А. Николаевым. 6. Но главное, необходимо объяснить геофизическую сущность и причины закономерностей пространственно-временной организации.

*Цель исследования* – выявить совместную роль площади, высоты острова и типа атмосферной циркуляции в положении верхней границы лесного пояса.

**Материалы и методы исследования.** Важнейшие характеристики объектов исследования для решения поставленной цели представлены в табл. 1.

В основу написания статьи положены данные по островам Као, Силуэт, Уполу, Вити Леву и Савайи, собранные в экспедициях на НИС «Каллисто», «Академик Виноградов» и «Академик Несмеянов». Для характеристик других островов использованы: [Физико-географический атлас Мира, 1964; Resources and Environment ..., 1998]; отдельные статьи в Большой Российской энциклопедии, монографии, статьи и справочники: [География Сейшельских островов, 1990; Игнатьев, 1979; Кислов, 2011; Климатический ..., 1974; Пузаченко и др., 1994; Bruijnzeel et al., 2011; Naila, 1983; Clark et al., 2020; Wright, 1963]. Для Сейшельских островов и архипелага Тонга использованы навигационные карты в масштабах 1:10 000 или 1:25 000.

При подборе островов мы руководствовались следующими принципами. По своему генезису они должны быть преимущественно вулканическими, а их площадь находится в прямой зависимости от высоты. Для разнообразия был взят материковый остров Мадагаскар – типичный кратон, отделившийся от Африканской платформы в мезозойский период. Остров Новая Каледония имеет материковый тип земной коры, о чем свидетельствует его асейсмичность и отсутствие действующих вулканов [Пушаровский, 1972]. Вити-Леву представляет собой эрозионно-вулканическое нагорье, на котором нет действующих вулканов [Doumenge, 1966]. Площадь островов – важнейший фактор положения верхней границы леса, изменяется в значительных пределах: от 12–15 км<sup>2</sup> до 16 тыс. км<sup>2</sup> и как особо большой остров-материк – Мадагаскар, площадью 58 700 км<sup>2</sup>.

Учитывая, что самый высокий хребет острова Мадагаскар Царатанак, достигающий высоты 2876 м, расположен в северо-восточной его части и относительно изолирован от центральной и южной территории острова, была рассчитана площадь суши, на которой происходит трансформация натекающей воздушной массы с Индийского океана и которая во многом предопределяет высоту границы лесного пояса. Физического смысла в учете всей площади острова нет.

Рассматриваемые острова расположены в двух климатических поясах: в тропическом или субэкваториальном. Восемь из двенадцати островов характеризуются четко выраженной пассатной циркуляцией. Острова Мадагаскар и Силуэт имеют признаки как пассатной, так и муссонной циркуляции; Лорд-Хау и Рауль расположены в областях муссонных ветров (см. табл. 1). Радиационный индекс сухости на уровне нижнего высотного пояса изменяется от 0,63 до 0,96. Зональным типом ландшафта чаще всего выступают субэкваториальные или тропические вечнозеленые пассатные леса. На островах Као, Лорд-Хау, Новая Каледония и Рауль, которые расположены сравнительно недалеко от южной границы тропического пояса, леса чаще всего листопадно-вечнозеленые.

Полевые исследования осуществлялись на трех масштабных физико-географических уровнях: 1) ландшафтном, когда изучался остров в целом (первич-

Т а б л и ц а 1

Характеристика объектов исследования

Название острова	Координаты	Площадь, <sup>2</sup> тыс. км <sup>2</sup>	Высота над уровнем морья, м	Радиационный индекс сухости	Направление ветра I/VI	Зональный тип ландшафта
о. Као, архипелаг Тонга	φ = 19°40' ю. ш. λ = 175°01' з. д.	0,012	1046	0,98	ВЮВ/ЮВ	Влажные пассатные тропические леса
о. Силуэт (Сей- шельские о-ва)	φ = 4°29' ю. ш. λ = 55°13' в. д.	0,020	752	0,76	С/ЮЮВ	Субэкваториальные влажные вечнозеленые муссонные леса
о. Уполу (Самоа)	φ = 13°55' ю. ш. λ = 171°45' з. д.	2,83	1082	0,67	ЮЮВ/ЮВ	Влажные вечнозеленые пассатные тропические леса
о. Вити-Леву	φ = 17°48' ю. ш. λ = 178°00' в. д.	10,4	1324	0,68	ВЮВ/ЮВ	Влажные пассатные тропические леса
о. Гавайи, наветренные склоны	φ = 21°18' с. ш. λ = 157°48' з. д.	10,43	4205	0,65	СВ/СВ	Влажные пассатные тропические вечнозеле- ные леса
о. Лорд-Хау	φ = 31°31' ю. ш. λ = 159°05' з. д.	0,015	875	0,89	СЗ/ЮЗ	Влажные листопад- вечнозеленые леса с муссонной циркуля- цией
о. Мадагаскар, наветренные склоны	φ = 12–25° ю. ш. λ = 43–50° в. д.	58,7	2886	0,60	С/ЮВ	Влажные тропические леса с признаками мус- сонной циркуляции
о. Новая Каледония	φ = 21° ю. ш. λ = 165° з. д.	16,0	1628	0,79	В/ЮВ	Тропические леса с пассатной циркуляцией
о. Савайи (Самоа)	φ = 13°35' ю. ш. λ = 172°25' з. д.	1,71	1858	0,67	ЮЮВ/ЮВ	Влажные тропические вечнозеленые пассат- ные леса
о. Коломбангара, группа Соломоновых о-вов	φ = 7°58' ю. ш. λ = 157°04' в. д.	0,688	1661	0,65	В/ЮВ	Субэкваториальные влажные пассатные леса
о. Бугенвиль, группа Соломоновых о-вов)	φ = 6°08' ю. ш. λ = 155°16' в. д.	9,32	2715	0,63	ССЗ/ЮВ	Субэкваториальные влажные вечнозеленые пассатные леса
о. Рауль	φ = 29°15' ю. д. λ = 177°55' з. д.	0,03	516	0,96	ВЮВ/СЗ	Тропические листопад- но-вечнозеленые мус- сонные леса

ным результатом являлась ландшафтная карта); 2) на уровне урочищ путем крупномасштабного ландшафтного профилирования и использованием метода комплексной ординации В.Б. Сочавы с регулярным шагом опробывания в 30 м; 3) на уровне отдельных наиболее типичных элементарных геосистем (фаций). В последнем случае наибольшее внимание уделялось описанию почв и растительного покрова. На ряде островов по профилям производились элементарные метеорологические наблюдения за температурой и влажностью воздуха. В целом использовалось стандартное оборудование ландшафтных исследований.

**Обсуждение результатов.** Используя данные по площадям островов и верхней границы субэкваториальных и тропических лесов, была найдена логарифмическая зависимость верхней границы леса от площади (рисунок). Она выражается уравнением:

$$Y = 358,75X + 188,75; R^2 = 0,830,$$

где  $Y$  – положение верхней границы леса, а  $X$  – десятичный логарифм площади острова,  $R^2$  – мера связи (рис.). Положение границы можно определить примерно, с точностью  $\pm 100$ –150 м. В условиях преобладания пассатной циркуляции приведены значения границ на склонах юго-восточной – юго-западной экспозиций, то есть на наветренных. Другой фак-

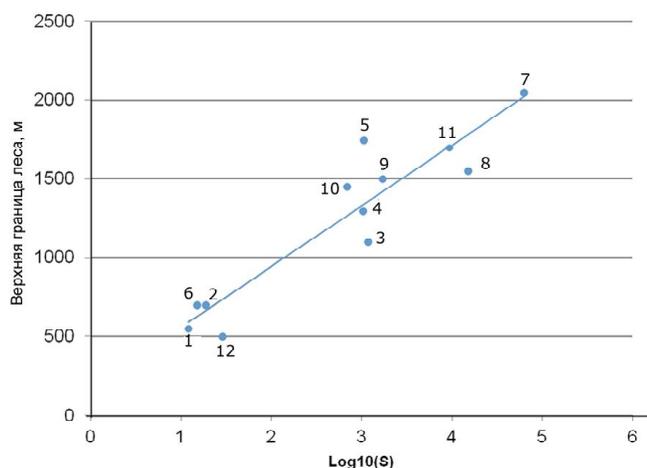


Рис. Зависимость между площадью острова и верхней границей леса: 1 – о. Као (архипелаг Тонга), 2 – о. Силуэт (Сейшельские), 3 – о. Уполу (Самоа), 4 – о. Вити-Леву (архипелаг Фиджи), 5 – Гавайские острова, 6 – Лорд-Хау, 7 – о. Мадагаскар, 8 – о. Новая Каледония, 9 – о. Савайи (Самоа), 10 – о. Коломбангара (архипелаг Соломоновы острова), 11 – о. Бугенвиль (архипелаг Соломоновы острова), 12 – о. Рауль (архипелаг Кермадек)

Fig. Dependence between the island area and the upper forest line. Islands: 1 – Kao (Tonga archipelago), 2 – Silhouette (Seychelles), 3 – Upolu (Samoa), 4 – Viti-Levu (Fiji archipelago), 5 – Hawaiian Islands, 6 – Lord-Howe, 7 – Madagascar, 8 – New Caledonia, 9 – Savaii (Samoa), 10 – Kolombangara (Solomon Islands Archipelago), 11 – Bougainville (Solomon Islands Archipelago), 12 – Raoul (Kermadec archipelago)

тор, осложняющий точное определение границы, заключается в ее постепенности. Широтная зональность, за небольшим исключением, представлена субэкваториальными или тропическими вечнозелеными типами ландшафта. Высотная дифференциация внутри одной зоны проявляется уже с высот 150–200 м, например, на островах Силуэт, Фелисите, Фрегат (Сейшельские); островах в Южно-Китайском море Шон (высота 529 м,  $\varphi=8^{\circ}41'$  с. ш.,  $\lambda=106^{\circ}35'$  в. д.) и Байкань (высота 323 м,  $\varphi=8^{\circ}40'$  с. ш.,  $\lambda=106^{\circ}41'$  в. д.); о. Аполима (Самоа) и др. Причина – увеличение атмосферных осадков с высотой с градиентом, достигающим на о. Уполу 260–270 мм/100 м, на о. Силуэт – 190 мм/100 м. Типичные вечнозеленые леса с высотой сменяются туманным низколесьем или редкостойными лесами, которые переходят в безлесный пояс, образованный либо зарослями папоротников высотой до 150–180 см на 500 м над уровнем моря, постепенно прижимающихся к земной поверхности до высоты 1040 м на о. Као, либо редкими невысокими кустарниками типа средиземноморского маквиса [Игнатъев, 1979] на склонах южной экспозиции, подверженных действию холодных ветров (о. Лорд-Хау).

На о. Уполу, как показали маршрутные наблюдения в самой высокой его части, граница леса, видимо, определяется не влажностью воздуха, а ветровым режимом. Низколесья распространены фрагментарно и отражают местные условия мезорельефа. Пояс высокогорных кустарников и туман-

ных редколесий здесь отсутствует. Он появляется на рядом расположенном острове Савайи, высота которого более 1800 м, на что обратил внимание Г.М. Игнатъев [1979].

Своеобразна структура высотной поясности на Гавайских островах. В нижнем лесном поясе на северо-восточном наветренном макросклоне до высоты 600–700 м, где выпадает не более 1200–1400 мм осадков в год, господствуют сезонно-влажные листопадно-вечнозеленые леса. Постоянно влажные вечнозеленые леса распространены до высоты 1200 м. Туманное низколесье начинается с высоты 1700 м, а на 1900–2000 м уступает место субальпийским лугам и кустарниковым пустошам, причем наветренные склоны получают осадков до 6000 мм/год [Bruijnzeel et al., 2011].

Совместная роль факторов высоты и размеров острова в спектре высотной поясности и в разнообразии его ландшафтной высотной дифференциации состоит в том, что чем больше площадь острова, тем в большей степени трансформируется над ней влажная океаническая масса и тем выше (над уровнем моря) расположен уровень конденсации влаги. В дневные часы вода, имеющая удельную теплоемкость 4187 Дж/кг °С, прогревается медленнее, чем суша. Удельная теплоемкость минерального субстрата равна примерно 754–920 Дж/кг °С. Структура теплового баланса ландшафтов островов принципиально отличается от структуры морей и океанов тем, что турбулентный поток тепла от водной поверхности составляет 217–435 МДж/м<sup>2</sup> год, а на суше он равен от 435 до 100 МДж/м<sup>2</sup> год [Будыко, 1971]. Заметим, что острова, как и водохранилища, трансформируют натекающие на них воздушные массы, а площадь и глубина водохранилищ определяет размер их влияния на прилегающую территорию [Вендров и др., 1970; Тимофеев, 1963].

Конечно, нельзя не учитывать вертикальный градиент увеличения атмосферных осадков, который в пределах высот до 2–3 км на рассматриваемых островах равен от 150 до 290 мм на 100 м высоты. Но с высотой возрастают не только осадки, но и относительная влажность воздуха, достигая в туманных лесах 90–95%. При влажности около 100% интенсивность фотосинтеза резко падает, так как транспирация воды из листьев практически не происходит. Отдельные замеры относительной влажности воздуха на высотах 500–560 м показали, что на уровне 2,5 м от поверхности влажность воздуха составляла 95–99%, а в приземном слое была меньше на 3–5%.

В отличие от арктического, субарктического, умеренного и отчасти субтропического поясов на рассматриваемых островах высотная граница леса не обусловлена термическим режимом, так как средняя месячная температура воздуха самых прохладных месяцев в году на верхней границе туманных лесов в июле и августе не менее 16–18°.

На острове Као, осуществляя ландшафтные исследования в третьей декаде июня, мы провели серию метеорологических наблюдений по профилю

от уреза воды до высоты 560 м. Погодные условия: облачность 10/10 баллов. Верхняя точка измерения – крутой склон 22–30° юго-юго-восточной экспозиции, в интервале высот 500–580 м, сложенный с поверхности до глубины 0,7 м плащом пирокластического материала (шлаками до 3–6 см в диаметре), покрытый папоротниковым казуариновым редко- и низкорослым, местами – папоротниково-плауновой растительностью на грубогумусовых примитивных вулканических щебнистых тяжелосуглинистых почвах<sup>2</sup>. Мощность горизонта А<sub>1</sub> составила от 5–6 до 10 см; А<sub>1</sub>–В до 12–15 см от поверхности. Данные измерения температуры воздуха на высоте 2 м приведены в табл. 2.

Анализ таблицы позволяет, во-первых, выявить зону интенсивного влияния океана на местный климат острова – примерно до 40 м. Во-вторых, констатировать влажноадиабатическое изменение температуры с высотой, что является следствием выделения теплоты конденсации. Об этом свидетельствует вертикальный градиент температуры воздуха в слое 75–560 м, равный 0,31. Такой градиент характерен и для многих других островов с пассатной циркуляцией. Явление пассатной инверсии не обнаружено, но пассатную изотермию можно предположить на более высоких гипсометрических уровнях.

С площадью островов (и не только экваториально-тропических) связана густота речной сети, разнообразие ее строения и число порядков рек. Между размером острова и разнообразием его ландшафтной структуры связь очевидна. Об этом свидетельствует весь эмпирический материал ландшафтного картографирования и профилирования. Мы отмечали, что сущность влияния размера островной суши заключается в соотношении периода без осадков (*T*) и времени добегания осадков в океан (*t*) – функция размера и высоты острова, рельефа, сла-

гающих пород, испарения. Условие формирования постоянных водотоков –  $T < t$ . Постоянные водотоки и связанные с ними прирусловые валы, поймы, староречья, террасы, склоны выступают «организаторами» пространственной структуры ландшафтов. Отметим в этом отношении работу А.Н. Иванова [2014], в которой показана логарифмическая зависимость густоты речной сети от площади островов, входящих в состав Шантарского архипелага.

**Выводы:**

– площадь и высота острова, наряду с его удаленностью от материков, – важнейшие факторы, определяющие био- и ландшафтное разнообразие и спектр высотной поясности, в том числе границу леса;

– в развивающейся эмпирической теории островного ландшафтоведения очень важна геофизическая составляющая для понимания специфики их структуры, динамики, функционирования и эволюции;

– острова в обширном экваториально-тропическом поясе, характеризуются не только относительно устойчивым климатом в плейстоцене, но и устойчивой атмосферной циркуляцией для каждого из островов, важная из которых пассатная;

– на примере различных по размеру островов, характеризующихся высотной поясностью и относящихся к типам субэкваториальных и тропических влажных и вечнозеленых лесов, установлена логарифмическая зависимость верхней границы леса от их площади;

– положение границы леса не обусловлено термическими условиями, а в первую очередь определяется уровнем конденсации влаги и относительной влажностью воздуха;

– с увеличением площади острова над ним более существенно трансформируется влажная океаническая воздушная масса и возрастает уровень конденсации влаги.

Таблица 2

Изменение температуры воздуха с высотой и расстоянием от уреза воды

Форма поверхности	Вода		Урез	Клиф	Пологий склон		Крутой склон			
	0	2			25	75	370	400	529	560
Высота, м	0	2	8	25	75	370	400	529	560	
Расстояние от уреза, м	–12	1	11–12	110	420	1090	1165	1710	1800	
Температура, °С	24,1	23,5	22,4	19,8	19,4	19,1	18,9	18,3	17,9	
Вертикальный градиент, °С/100 м	от уреза до 25 м – 14,7; от 25 до 560 м – 0,31									

**Благодарности.** Автор благодарит за полезные консультации и помощь в работе Т.И. Харитонову, Ю.В. Логуну, В.М. Матасова и Е.Г. Нагорную.

<sup>2</sup> Использовано рабочее название почвы, предложенное В.О. Таргульяном.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Будыко М.И.* Климат и жизнь. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 472 с.
- Вендров С.Л., Дьяконов К.Н., Ретеюм А.Ю.* Влияние водоемов на климат побережий в различных географических зонах // Влияние водохранилищ лесной зоны на прилегающие территории. М.: Наука, 1970. С. 6–12.
- География Сейшельских островов // Экология и рациональное использование островных экосистем / Под ред. П.А. Каплина, В.Н. Космынина, Л.Г. Никифорова. М.: Изд-во Моск. унта, 1990. 1267 с.
- Григорьев А.А., Будыко М.И.* О периодическом законе географической зональности // Доклады АН СССР. 1956. Т. 110. № 1. С. 129–132.
- Иванов А.Н.* Проблемы изучения ландшафтов островов // Изв. РГО. 2009. Вып. 4. С. 4–11.
- Иванов А.Н.* Проблемы островного ландшафтоведения // Вопросы географии. Горизонты ландшафтоведения. Вып. 138. М.: Кодекс, 2014. С. 138–158.
- Игнатъев Г.М.* Тропические острова Тихого океана. М.: Мысль, 1979. 270 с.
- Кислов А.В.* Климатология. Учебник для вузов. М.: Академия, 2011. 224 с.
- Климатический справочник зарубежной Азии. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 448 с.
- Пианка Э.Р.* Эволюционная экология. М.: Мир, 1981. 400 с.
- Пузаченко Ю.Г., Головач С.И., Длусский Г.М., Дьяконов К.Н., Захаров А.А.* Животное население островов Юго-Западной Океании (эколого-географические исследования). М.: Наука, 1994. 253 с.
- Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н.* Острова в океане. Эколого-географические исследования на островах Тонга и Западного Самоа // Наука в СССР. № 4. 1982. С. 76–85.
- Пуцаровский Ю.М.* Введение в тектонику Тихоокеанского сегмента Земли // Труды ГИН. Вып. 234. М.: Наука, 1972.
- Ретеюм А.Ю.* Земные миры. М.: Мысль, 1988. 268 с.
- Тимофеев М.П.* Метеорологический режим водоемов. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 291 с.
- Физико-географический атлас Мира / Под ред. акад. И.П. Герасимова. АН СССР и ГУГК ГК СССР. М., 1964. 298 с.
- Bruijnzeel L.A., Scatena F.N., Hamilton L.S.* Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management. Cambridge University Press, 2011.
- Clark V., Reeves M., Miller S.* Hawaiian Islands Wet Forest. Encyclopedia of the World Cs Biomes, 2020.
- Doumenge F.* L Chomme dans le Pacifique Sud. Paris, Publ. de la Socete des Oceanistes, 1966, no. 19.
- Haila Y.* Ecology of island colonization by northern land birds: a quantitative approach. Hensinki, Univ. Press, 1983.
- MacArthur R.H., Wilson T.O.* The theory of island biogeography. Princeton Univ. Press, 1967, 203 p.
- Mühlenberg M., Laipold D., Mader H.J., Steinhaur D.* Island ecology of Arthropods. II. Niches and relative abundance of Seychelles ants (Formicidae) in different habitats. *Oecologia*, 1977, vol. 29(2), p. 135–144. DOI: 10.1007/bf00345793.
- Resources and environment : world atlas. Institute of Geography, Russian Academy of Sciences. Prof. V.M. Kotlyakov (Ed.), Vienna, Ed. Holzel, 1998.
- Simberloff D.S.* Experimental zoogeography of islands: effect of island size. *Ecology*, 1976, vol. 57, p. 195–205.
- Williamson V.N.* Island populations. Oxford: Univer. Press, 1981.
- Wright A.C.S.* Soils and land use of Western Samoa. Wellington, Res. Soil bureau bull., 1963, no. 22.

Поступила в редакцию 06.07.2020

После доработки 03.08.2020

Принята к публикации 06.08.2020

K.N. Dyakonov<sup>1</sup>

GEOPHYSICAL FACTORS OF THE UPPER FOREST LINE  
ON EQUATORIAL AND TROPICAL ISLANDS  
OF THE PACIFIC AND INDIAN OCEANS

Joint effect of altitude, island area and atmospheric circulation for the altitudinal position of the forest belt is described basing on publications and materials of six voyages to the tropical islands of the Pacific and Indian oceans. Two landscape types prevail above the foggy forest zone, i.e. fern-wet-meadow on the slopes facing the trade winds and dry shrublands, analogues of subtropical maquis, above the upper limit of trade winds or on the leeward slopes. In the former case the upper forest line depends on the permanently high relative humidity, up to 95–100%. A logarithmic dependence of the upper forest line altitude on the island area has been revealed. The island area determines the degree of transformation of marine air masses entering the islands. Specific heat capacity of the island surface is 4–5 times lower than that of water; in the daytime a greater share of energy is consumed for turbulent heat exchange with the atmosphere as compared to water. Therefore, the level of moisture condensation on small islands is lower than on larger ones, and the process of photosynthesis in trees is either inhibited or absent.

*Key words:* physical-geographical altitudinal zonality, island area and altitude, transformation of air masses, relative air humidity

*Acknowledgements.* The author is grateful to T.I.Kharitonova, Yu.V. Logunov, V.M. Matasov and E.G. Nagornaya for the fruitful consultations and assistance in the study.

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science, Head of the Department, Professor, Corresponding member of the RAS; e-mail: diakonov.geofak@mail.ru

## REFERENCES

- Barry R.G. *Mountain Weather and Climate*. Cambridge Univer, 2008, 506 p.
- Bruijnzeel L.A., Scatena F.N., Hamilton L.S. (ed.). *Tropical montane cloud forests: science for conservation and management*. Cambridge University Press, 2011.
- Budyko M.I. *Klimat i zhizn* [Climate and life]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1971, 472 p. (In Russian)
- Clark V., Reeves M., Miller S. *Hawaiian Islands Wet Forest. Encyclopedia of the World Cs Biomes*, 2020.
- Doumenge F. *L'homme dans le Pacifique Sud: étude géographique*. Paris, Musée de l'homme, 1966, no. 19.
- Fiziko-geograficheskiy atlas mira [Physical-geographical atlas of the world]. I.P. Gerasimov (Ed.). Academy of Sciences of the USSR and GUGK GUK USSR. Moscow, 1964, 298 p. (In Russian)
- Geografiya Seyshel'skikh ostrovov. *Ekologiya i ratsional'noye ispol'zovaniye ostrovnykh ekosistem*. [Geography of Seychelles. Ecology and rational use of island ecosystems]. P.A. Kaplin, V.N. Kosmynin, L.G. Nikiforov (Eds). Moscow, MSU Publ., 1990, 1267 p. (In Russian)
- Grigor'ev A.A., Budyko M.I. O periodicheskom zakone geograficheskoi zonal'nosti [About the periodic law of geographical zonality]. *Doklady of the Russian Academy of Sciences*, vol. 110, no. 1, 1956, p. 129–132. (In Russian)
- Haila Y. *Ecology of island colonization by northern land birds: a quantitative approach*. University of Helsinki, 1983.
- Ignatiev G.M. *Tropicheskiye ostrova Tikhogo okeana* [Tropical Pacific Islands]. Moscow, Mysl' Publ., 1979, 270 p. (In Russian)
- Ivanov A.N. Problemy izucheniya landshaftov ostrovov [Problems of studying the island landscapes]. *Izvestiya RGO*, 2009, vol. 141, iss. 4, p. 4–11. (In Russian)
- Ivanov A.N. [The problems of island landscapes studies] *Voprosy geografii, Gorizonty landshaftovedeniya* [Issues of Geography. Horizons of Landscape Science], vol. 138, Moscow, Kodeks Publ., 2014, p. 138–158. (In Russian)
- Kislov A.V. *Klimatologiya* [Climatology]. Textbook for high schools. Moscow, Akademiya Publ, 2011, 224 p. (In Russian)
- Klimaticheskij spravochnik Zarubezhnoy Azii [Climates of Foreign Asia]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975, 448 p. (In Russian)
- MacArthur R.H., Wilson T.O. *The theory of island biogeography*. Princeton Univ. Press, 1967, 203 p.
- Mühlenberg M., Leipold D., Mader H.J., Steinhauer B. Island ecology of Arthropods. II. Niches and relative abundances of Seychelles ants (Formicidae) in different habitats. *Oecologia* (Berlin), 1977, vol. 29, p. 135–144. DOI: 10.1007/bf00345793.
- Pianka E.R. *Evolutionary Ecology*. Harper & Row, 1973, 356 p.
- Pushcharovskiy Yu.M. *Vvedeniye v tektoniku Tikhookeanskogo segmenta Zemli* [Introduction to the tectonics of the Pacific segment of the Earth]. Trudy GIN, vol. 234, Moscow, Nauka Publ., 1972. (In Russian)
- Puzachenko Yu.G., Dyakonov K.N. Ostrova v okeane. *Ekologo-geograficheskiye issledovaniya na ostrovakh Tonga i Zapadnogo Samoa* [Islands in the ocean. Ecological and geographical research on the islands of Tonga and Western Samoa]. *Nauka v SSSR*, no. 4, 1982, p. 76–85. (In Russian)
- Puzachenko Yu.G., Golovach S.I., Dlussky G.M., Dyakonov K.N., Zakharov A.A. *Zhivotnoye naseleniye ostrovov Yugo-Zapadnoy Okeanii (ekologo-geograficheskiye issledovaniya)*. [The animal population of the islands of Southwestern Oceania (ecological and geographical studies)]. Moscow, Nauka Publ., 1994, 253 p. (In Russian)
- Resources and Environment. World Atlas*. Institute of Geography, Russian Academy of Sciences. V.M. Kotlyakov (Ed.). Vienna, Ed. Hölzel, 1998, 190 p.
- Reteyum A.Ju. *Zemnyye miry* [Earthly worlds]. Moscow, Mysl' Publ., 1988, 268 p. (In Russian)
- Simberloff D.S. Experimental zoogeography of islands: effect of island size. *Ecology*, 1976, vol. 57, p. 195–205.
- Timofeev M.P. *Meteorologicheskii rezhim vodoyemov* [Meteorological regime of water bodies]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1963, 291 p. (In Russian)
- Vendrov S.L., Dyakonov K.N., Reteyum A.Yu. [Influence of reservoirs on the climate of coasts in different geographical zones]. *Vliyaniye vodokhranilishch lesnoy zony na privileyushchiye territorii* [Influence of reservoirs of the forest zone on the adjacent territories]. Moscow, Nauka Publ., 1970, p. 6–12. (In Russian)
- Williamson V.N. *Island populations*. Oxford University Press, 1981.
- Wright A.C.S. Soils and land use of Western Samoa. *Wellington. Res. Soil bureau bull.*, 1963, no. 22.

Received 06.07.2020

Revised 03.08.2020

Accepted 06.08.2020