

УДК 581.52/581.524.3/574.9
AGRIS: F40

КЛИМАТИЧЕСКИ НЕОПРАВДАНЫЕ БОРЕАЛЬНЫЕ ЛЕСА ЮЖНО-КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

©*Коломыц Э. Г.*, ORCID: 0000-0001-8849-6191, д-р геогр. наук,
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия, egk2000@mail.ru
©*Шарая Л. С.*, ORCID: 0000-0003-3073-8148, канд. биол. наук,
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия, l_sharaya@mail.ru
©*Сурова Н. А.*, ORCID: 0000-0001-9705-7721,
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия, n_surova2014@mail.ru

CLIMATICALLY UNJUSTIFIED BOREAL FORESTS IN THE SOUTH-KURIL ISLANDS

©*Kolomyts E.*, ORCID: 0000-0001-8849-6191, Dr. habil.,
Institute of Ecology of the Volga River Basin of Russian Academy of Sciences,
Togliatti, Russia, egk2000@mail.ru
©*Sharaya L.*, ORCID: 0000-0003-3073-8148, Ph.D., Institute of Ecology of the Volga River Basin
of Russian Academy of Sciences, Togliatti, Russia, l_sharaya@mail.ru
©*Surova N.*, ORCID: 0000-0001-9705-7721, Institute of Ecology of the Volga River Basin
of Russian Academy of Sciences, Togliatti, Russia, n_surova2014@mail.ru

Аннотация. В становлении и развитии островодужных вулканогенных экосистем Северо–Западной Пацифики исключительно важную системообразующую роль играет лесная фитобиота. «Запрограммированность» стратегии развития растительных сообществ на создание максимальной биомассы в островодужных бореальных лесах выражена гораздо сильнее, нежели в их зональных аналогах на соседнем материке. При этом исключительно большая доля зеленой массы в структуре продукционного процесса ведет к ускорению биологического круговорота, способствуя тем самым устойчивости лесных сообществ.

Впервые проведены количественные оценки влияния магматической энергии действующего вулкана на термический режим почвы и на лесообразование.

Указанные экологические процессы в совокупности обеспечивают выживание и развитие климатически неоправданных лесов в островных экосистемах бореальной Северо–Западной Пацифики при неблагоприятных для этих лесов условиях «холодной» океаничности.

Abstract. Forest phytobiota plays an exceptionally important backbone part in the establishment and development of insular–arc volcanic ecosystems in North–West Pacific. The optimizing strategy program for the development of plant communities, which is aimed at the maximum biomass formation on forest island–arc landscapes, is much more marked compared to their zonal analogs on the neighboring continent. An exceptionally high percentage of green mass in the structure of production results in the acceleration of biological cycle as a factor of stability of forest community. Quantitative assessment of the effects of magmatic energy of active volcano on the thermal regimes of soil and forest formation in an insular volcanic landscape, has been made for the first time. Geothermal energy is a factor of accelerated evolution of the island phytobiota. All the above ensures the survival and development of insular ecosystems of the boreal North–West Pacific under unfavorable conditions of “cold” oceanicity.

Ключевые слова: вулканические острова, лесные экосистемы, продуктивность, магматические геотермы, лесообразование, эмпирико-статистические моделирование.

Keywords: volcanic islands, forest ecosystems, productivity, magmatic geotherms, forest formation, empirical-statistical modeling.

К настоящему времени уже накоплен достаточно обширный эмпирический материал, характеризующий закономерности и условия формирования растительного покрова Курильских островов, а также соседних островных и окраинно–материковых территорий. Наряду с многочисленными геоботаническими описаниями даются самые общие аналитические оценки, направленные на познание процессов флоро– и фитогенеза в Северо–Западной Пацифике. Так, в многочисленных исследованиях прошлых лет [1–4], а затем последних десятилетий [5–8] приводятся весьма разносторонние характеристики структуры островного растительного покрова и его динамики в плейстоцене и голоцене. Аналогичные геоботанические описания мы находим по другим экорегионам Северной Пацифики, в частности по о. Хоккайдо [9–10], Алеутским островам [11], а также прибрежно–островным районам Британской Колумбии [12–13].

Подавляющее большинство указанных работ знаменуют собой лишь инвентаризационный этап эколого–фитоценологических исследований. Очевидна необходимость перехода к аналитическому этапу — к познанию причинных механизмов пространственной экосистемной организации через построение численных эмпирических моделей. Опыт реализации этого этапа изложен в данном сообщении. На примере экорегиона «Вулкан Менделеева» в южной части о–ва Кунашир (Южно–Курильская гряда) проведен опыт эмпирико–статистического моделирования функциональной организации островодужных лесных экосистем, принадлежащих Тихоокеанскому мегаэотону Северной Евразии [14]. Территориально район исследования входит, согласно В. Б. Сочаве [15], в сектор Неопацифики, который резко отличается биоклиматически как от азиатского окраинно–материкового сектора Субпацифики, так и от внутриматериковой Палеопацифики.

Объекты исследования

Вулкан Менделеева (абс. высота 890 м) входит в состав действующих одиночных вулканов и имеет наиболее типичное для Курильской островной дуги строение [16–17]. Последнее (пирокластическое) извержение вулкана произошло в 1880 г. Вулкан состоит из двух разновозрастных сомм (кольцевых гребней с внешними склонами) и центрального конуса возрастом около 4200 лет (Рисунок 1). Наиболее древним вулканическим образованием (доледникового времени) является большая кальдера (обширная впадина на вершине вулкана) с плащом первой соммы.

В верхнем плейстоцене (около 39–40 000 л. н.), согласно [16], на южном крае первой кальдеры возник новый конус. Образовалась вторая кальдера диаметром 3,0–3,5 км, а синхронная ей вторая сомма на Ю–ЮВ–В склонах вулкана (от вершин до абс. отметок 150–200 м) перекрыла первую сомму. Гребень второй кальдеры сохранился в виде полукольцевого хребтика с платообразной вершиной г. Мечникова (наивысшая точка — 798 м абс.) (Рисунок 1). Основная часть пробных площадей территории наших полевых исследований (см. ниже) располагалась на склонах этой соммы (вплоть до ее подножий, с выходом на прибрежные морские террасы), а также в атрио–полукольцевом понижении, который отделяет сомму от центрального купола.

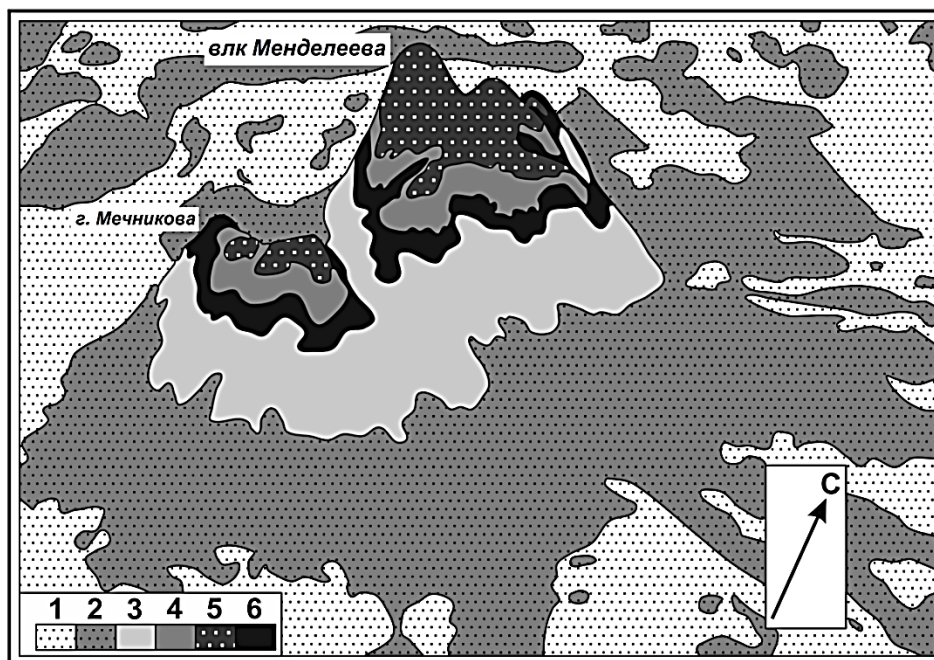


Рисунок 1. Растровая карта групп типов леса Менделеевского вулканического ландшафта. Условные обозначения см. в тексте.

Ландшафт вулкана Менделеева дает пример вулканогенных природных комплексов на этапе завершается *активного вулканизма*, с его интенсивными эруптивными процессами, и перехода к *вулканизму пассивному*. Определяющим эндогенным фактором становятся энергоемкие глубинные *флюидные системы*, выходные каналы которых (фумаролы) формируют сольфатарные поля [18]. На вулкане Менделеева имеются четыре таких крупных сольфатары. Тепловизионная съемка, проведенная на северо-восточном фумарольном поле вулкана, выявила наиболее прогретые участки с температурой парогазовых выходов и термальных вод до 90 °С, а поверхности озер около 35 °С [19]. В целом возраст Менделеевского вулканогенного ландшафта составляет 39–40 000 лет. Это означает, что природно-территориальная структура территории уже достаточно развита. Она сформирована не только морфотектоникой и гидро-климатическим режимом, но и интенсивной «работой» почвенно-биотических компонентов.

Геоморфология Менделеевского вулканического ландшафта охарактеризована двумя признаками: 1) вертикальной ландшафтной микроярусностью, с определенными ступенями абсолютных высот, и 2) макроэкспозицией склонов вулкана и окружающих его равнин. Выделены четыре ландшафтных микрояруса: предгорно-равнинный (ниже 230–250 м), а также нижний (230–550 м), средний (500–720 м) и верхний (выше 670–720 м) низкогорные яруса. В соответствии с региональными климатическими контрастами, обусловленными циркуляционной экспозицией макросклонов Южно-Курильских островов [8], проведено разделение первых трех ландшафтных ярусов на две части — охотоморскую (ЮЗ-З-СЗ-С экспозиционный сектор) и тихоокеанскую (сектор СВ-В-ЮВ-Ю).

Южные Курилы, и в особенности о-в Кунашир, представляют собой образец высокого разнообразия *нереликтовых типов растительности* умеренного пояса в Северо-Западной Пацифике [3, 20], начиная от горных тундр и кончая хвойно-широколиственными и широколиственными лесами, обогащенными южными восточноазиатскими элементами, с присутствием вечнозеленых субтропических и реликтовых видов. Вулкану Менделеева свойственно также достаточно полное проявление высотно-зональной биоклиматической

поясности, несмотря на его относительно небольшую высоту. Здесь сосредоточены весьма разнообразные группировки растительности [21]. Нами выделены шесть групп типов леса (в скобках даны условные обозначения и средневзвешенные нормы абсолютных высот):

- 1) смешанные темнохвойно–широколиственные леса (♣♣ — 184 м);
- 2) темнохвойные (елово–пихтовые) леса (♣♣ — 379 м);
- 3) буферные каменноберезово–еловые леса (♣♣ — 575 м);
- 4) каменноберезовое криволесье с кедровым стлаником (♣♣ — 685 м);
- 5) заросли кедрового стланика (♣♣ — 718 м);
- 6) буферные кедровостланиково–березово–еловые сообщества (♣♣♣ — 575 м).

Эти типы относятся к соответствующим (преимущественно буферным) флористическим фратриям: Маньчжурско–Охотской, Охотской, Берингийско–Камчатской, Берингийской и Берингийско–Камчатско–Охотской.

Структура высотной поясности на вулкане Менделеева (Рисунок 2) типична для Южных Курил, что уже отмечалось ранее [21]. Над предгорными полидоминантными хвойно–широколиственными лесами поднимается пояс горных пихто–ельников, представленный наиболее широко в более прохладном и влажном тихоокеанском секторе. Эти темнохвойнолесные сообщества создают с лежащими выше каменноберезовым криволесьем и кедровым стлаником две характерные смешанные (буферные) ассоциации — каменноберезово–еловые и кедровостланиково–березово–еловые.

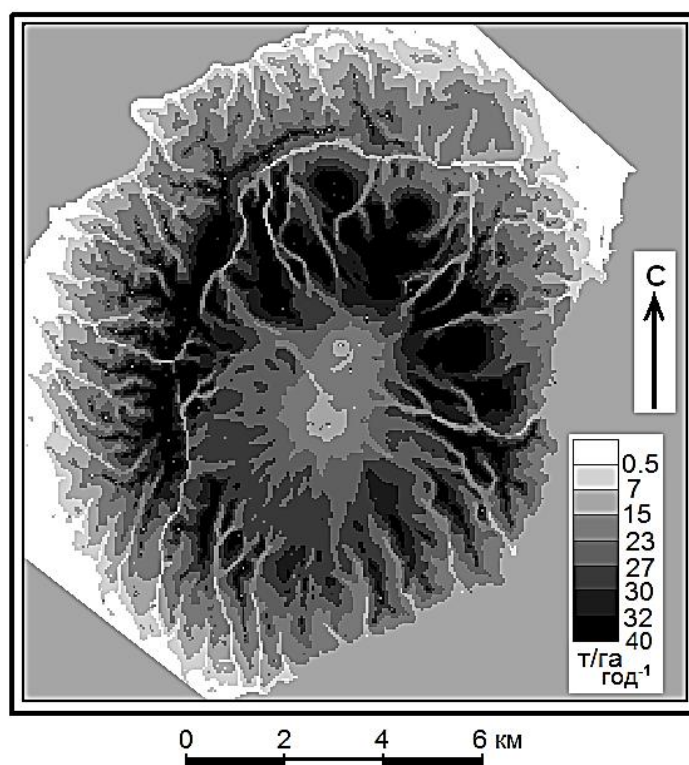


Рисунок 2. Растровая карта общей продуктивности смешанных и темнохвойных лесов, каменноберезовых криволесий и кедровых стлаников Менделеевского вулканического ландшафта.

На экспериментальном полигоне, охватывающем склоны и подножье вулкана Менделеева, в августе 1985 г. нами была проведена крупномасштабная ландшафтно–экологическая съемка, со снятием более чем 40 параметров структурно–функционального состояния лесных экосистем на 32 пробных площадях по разработанной ранее методике, подробно изложенной в работе [22].

Исходный эмпирический материал включал в себя пять блоков: 1) геоморфологический; 2) почвенный структурный; 3) фитоценотический структурный; 4) фитоценотический функциональный (фитомассы и продуктивность); 5) гидротермический.

Процедура проведенных расчетов живых фитомасс и продуктивности лесных сообществ изложена в работе Э. Г. Коломыц «Локальные механизмы глобальных изменений природных экосистем» [22].

Методы

Для биоклиматического анализа были использованы как региональные гидрометеорологические данные по Южно–Курильским островам, так и материалы нашей ландшафтно–экологической съемки. Вблизи северо–восточного подножья вулкана Менделеева находится метеостанция Южно–Курильск. Распределение средней месячной температуры самого теплого месяца августа t_{VIII} и годового количества осадков $r_{год}$ по абсолютной высоте для охотоморского и тихоокеанского секторов вулкана Менделеева рассчитано на основе данных WorldClim с помощью программы «Аналитическая ГИС Эко» [23, 24]. Планетарные матрицы WorldClim формировались путем интерполяции метеоданных. В процедуре интерполяции для суши использовались широта, долгота и высота в качестве независимых переменных. Для Курильского региона матрицы WorldClim преобразовывались в проекцию Гаусса–Крюгера (зона 25) с разрешением 600 м, что вполне отвечает подробности данных WorldClim для широт 0–ва Кунашир.

В последующем было осуществлено приведение многолетних норм климатических данных к 1985 году и были получены средние августовские температуры воздуха по всему Менделеевскому экорегиону, от побережий до вершин вулкана — по обоим секторам (охотоморскому и тихоокеанскому) и по всем ступеням высот. Эти температуры уже учитывали суммарное влияние гидро–климатических факторов — морских течений, циркуляционной и солярной экспозиции, высотных гидротермических градиентов.

В условиях океанического климата суточный ход температуры воздуха (и почвы) выражен очень слабо, что особенно выражено в августе. Суточная амплитуда температуры воздуха на ст. Южно–Курильск равна 2,0 °С. Многолетняя норма средней суточной температуры воздуха $t_{возд\ ср} = 15,8$ °, а значения температуры в сроки 11–15 часов, когда нами проводились измерения фактических температур почвы на пробных площадях, находились в пределах 17,4–17,8 °С. Разница составляет в среднем 1,8 °С.

Далее необходимо было рассчитать температуру почвы. Как известно, среднесуточная температура почвы на глубине 20 см $t_{20\ ср}$, измеряемая по коленчатым термометрам (т. е. для оголенной почвы), весьма близка к среднесуточной температуре воздуха [25]. Для ст. Южно–Курильск по многолетним месячным нормам за июль–сентябрь и по данным за отдельные годы было получено линейное уравнение регрессии с весьма высоким коэффициентом корреляции R:

$$t_{20\ ср} = 0,754 \times t_{возд\ ср} + 4,187; R = 0,929. \quad (1)$$

По этой формуле рассчитывались климатически обусловленные (виртуальные — будем так их условно называть; разъяснение см. далее) средние августовские температуры оголенной почвы на глубине 20 см. Затем было установлено, что, во-первых, температуры почвы за период 11–15 часов весьма близки к ее максимальным температурам $t_{20 \max}$ (1). Во-вторых, для ст. Южно–Курильск $t_{20 \text{ ср}} = 16,4 \text{ }^\circ\text{C}$, а $t_{20 \max}$ (1) = 16,5–16,7 $^\circ\text{C}$. Разность $t_{20 \max}$ (1) – $t_{20 \text{ ср}} \approx 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$, т. е. почти на порядок меньше аналогичной разности для температуры воздуха. Проверка по ст. Александровск–Сахалинский показала практически такую же (и даже меньшую) разницу.

Для перехода от $t_{20 \max}$ (1) оголенной почвы к $t_{20 \max}$ (2) почвы с травяным (луговым) покровом, т. е. от показаний коленчатых термометров к показаниям термометров вытяжных, использованы данные метеонаблюдений по ст. Курильск:

$$t_{20 \max} (2) = 0,87 \times t_{20 \max} (1) + 1,54; \quad R = 0,986. \quad (2)$$

На следующем этапе следовало перейти от луга к лесу, т.е. учесть снижение температуры почвы под лесным пологом. Для хвойно–широколиственных и темнохвойных лесов были приняты поправки $\Delta t_{20 \max} = -3,0 \div 3,5 \text{ }^\circ\text{C}$, которые свойственны подтаежным пихто–ельникам Южного Сахалина [26]. Согласно другим литературным источникам, для каменноберезово–еловых лесов, буферных кедровостланиково–березово–еловых сообществ, а также каменноберезовых криволесий с кедровым стлаником температурные поправки составили соответственно –2,5 $^\circ\text{C}$, –1,8 $^\circ\text{C}$, –2,0 $^\circ\text{C}$ и –1,5 $^\circ\text{C}$ [27–28].

В дальнейшем по данным наших температурных измерений на полигоне рассчитывались значения виртуальной (климатически обусловленной) температуры почвы на глубинах 30, 40, 50 и 70 см (здесь $t_{20 \max}$ (2) \equiv t_{20}):

$$t_{30} = 0,838 \times t_{20} + 1,78; \quad R = 0,97; \quad (3)$$

$$t_{40} = 0,732 \times t_{20} + 2,73; \quad R = 0,911; \quad (4)$$

$$t_{50} = 0,737 \times t_{20} + 1,9; \quad R = 0,896; \quad (5)$$

$$t_{70} = 0,65 \times t_{20} + 1,7; \quad R = 0,754. \quad (6)$$

Расчет и построение крупномасштабных карт температуры (а также температурных аномалий, см. ниже) основывались на спутниковых данных НАСА о рельефе — матрицах высот разрешения 90 м, полученные в ходе выполнения международного проекта SRTM «США–Италия–Германия» (Shuttle Radar Topography Mission — проект радарной съемки рельефа спутником Шаттл). С помощью новых методов геоморфометрии рассчитывались карты–матрицы, которые подробно описывают распределение температурных параметров Менделеевского ландшафта [29]. Изображение карты–матрицы формировалось в ГИС–программе по надлежащей легенде, с процедурами интерполяция и экстраполяция измеренных данных по матрицам факторов, для которых множественная регрессия выявила наиболее тесные статистические связи.

Для расчета и построения карт групп типов леса (Рисунок 1), а также первичной биопродуктивности (Рисунок 1) в Менделеевском экорегионе был проведен анализ межкомпонентных связей с помощью линейных моделей множественной регрессии. Процедура получения данных для отдельных точек (пробных площадей) на вулкане Менделеева заключалась в «считывании» значений показателей климата из тех элементов матриц климатических поверхностей WorldClim, которые отвечают географическим координатам этих точек. Такие данные использовались для построения уравнений регрессии

с климатическими показателями. При интерполяции и экстраполяции точечных данных на всю территорию полигона использовались температуры и влажность почвы (по векторам расстояний от побережий и от вершин вулкана), а также рельеф. Последний выражался 24 морфометрическими характеристиками, рассчитанными из данных модели GMTED 2010 (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data, 2010) с разрешением около 30 м в плане. По всем моделям определялась статистическая значимость каждого предиктора и оценивалась его относительная независимость. Верификация фитоценологических моделей дала положительные результаты.

Важнейшим биоклиматическим показателем, определяющим зональные типы географической среды, является, как известно, соотношение тепла и влаги Годовой коэффициент увлажнения Высоцкого–Иванова $K_{увл}$ рассчитывался из данных годового количества осадков $r_{год}$ и годовой испаряемости E_0 (год) по формуле:

$$K_{увл} = r_{год} / E_0 (год). \quad (7)$$

Для метеостанций Курильских островов годовая испаряемость определялась по известной формуле Н. Н. Иванова. Было также установлено, что средняя за год месячная испаряемость (25 мм) на ст. Южно–Курильск близка к испаряемости августа (21 мм), и это позволило принять связь между E_0 (год) и t_{VIII} прямо пропорциональной. Исходя из значений t_{VIII} , была определена годовая испаряемость для каждой из 32 пробных площадей на вулкане Менделеева по формуле (с весьма высоким коэффициентом корреляции R):

$$E_0 (год) = 19,215 \times t_{VIII} - 0,057; R = 0,999. \quad (8)$$

Близкие результаты расчетов E_0 (год) получены также по данным 8 метеостанций Курильских островов:

$$E_0 (год) = 20,74 \times t_{VIII} - 34,19; R = 0,971. \quad (9)$$

Эмпирико–статистическое моделирование структуры и функционирование лесных экосистем состояло в построении и описании моносистемных (теоретико–информационных) моделей. Краткое описание моделей и их новая содержательная интерпретация, изложены в работе Э. Г. Коломыц (2008). В данном сообщении приводятся:

1) нормированные коэффициенты сопряженности $K(A; B)$ i -го явления A_i (групп типов леса, флористических фратрий, а также параметров фитомасс и продуктивности) с j -тым абиотическим фактором B_j (в каждой паре признаков);

2) графические модели бинарной ординации — частные коэффициенты связи C_{ij} градаций a_i i -го явления с градациями b_j у j -го фактора.

По второму параметру устанавливалась система экологических ниш явления A_i в пространстве фактора B_j . В этой системе определялись экологические доминанты и «размытые» области экологических ниш. Основную картину бинарной ординации давала кривая, проведенная через экологические доминанты (Рисунок 3).

Результаты и их обсуждение

Климатические условия островной вулканогенной экосистемы

В формировании биоклиматической структуры Южно–Курильских островов первостепенную роль играет муссонная циркуляция воздушных масс, с резко выраженной розой ветров: северо–западных континентальных зимой и юго–восточных океанических летом. Сказывается также влияние омывающих с северо–запада теплого морского течения

(охотоморского — Соя) и с юго-востока — холодного (тихоокеанского — Курильского) течения. Через эту зону проходят основные траектории тропических циклонов, приносящих большое количество осадков. Муссонный характер климата, со сменой господствующих ветров, вызван сезонными смещениями (восток ↔ запад) траекторий циклонов [8]. Благодаря суперпозиции указанных факторов с горным вулканическим рельефом формируются достаточно контрастные климаты охотоморского и тихоокеанского секторов островов Кунашир, Итуруп и др.

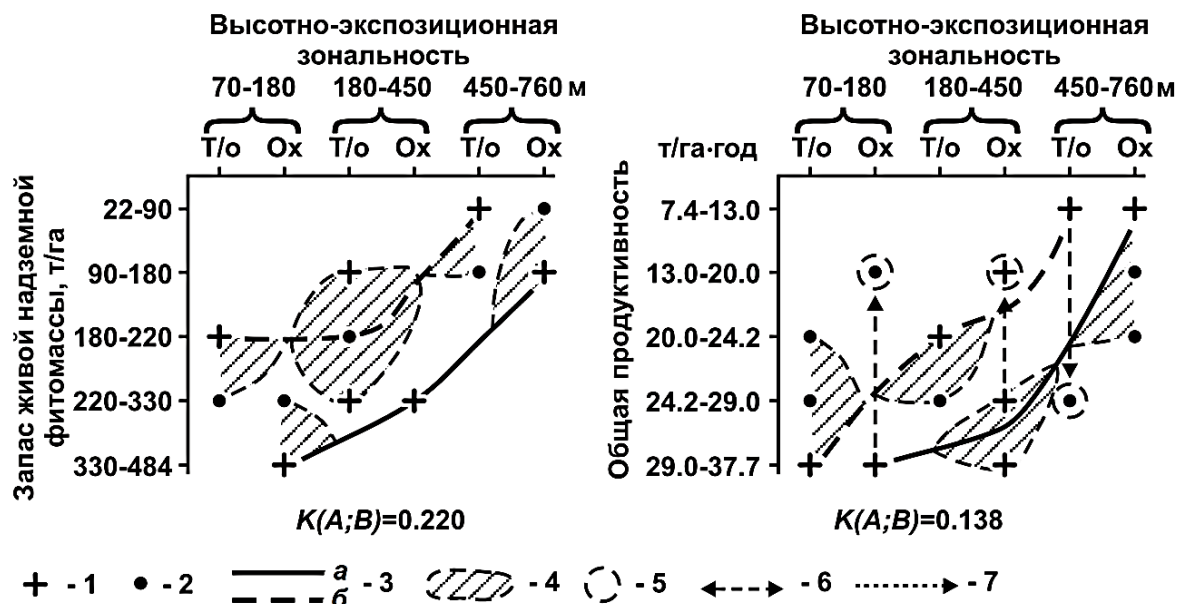


Рисунок 3. Распределение запасов фитомассы и продуктивности лесов по трем ступеням абс. высот в охотоморском (Ох) и тихоокеанском (Т/о) экспозиционных секторах Менделеевского экорегиона: 1 — экологический доминант; 2 — «размытая» часть экологической ниши; 3 — траектория, соединяющая экологические доминанты в экспозиционных секторах: *a* — охотоморском; *b* — тихоокеанском; 4 — пространство экологической ниши; 5 — анклав; 6 — направление возможной трансгрессии данного явления от его экологического доминанта; 7 — область спорадического распространения явления в пределах данных градаций фактора. $K(A; B)$ — нормированный коэффициент сопряженности [20]

Установлены две важнейшими черты региональной биоклиматической системы Курильских островов: 1) одновременное снижение и сжатие (по сравнению с соседним материком) всего спектра высотной поясности, который почти целиком (от лесных поясов до подгольцового пояса) укладывается в пределах низкогорного яруса макрорельефа; 2) охват локальными структурно-функциональными контрастами таксономических норм почвенно-биотических признаков целого ряда вышестоящих зонально-региональных единиц. Климатически обусловленное сжатие высотной поясности на островах смещает на локальный уровень региональные биоклиматические контрасты, которые обычно распространены в горах внутри материков и даже на их окраинах.

Южнокурильские островодужные подтаежные экосистемы резко отличаются от своих материково-островных и континентальных аналогов как более низкими температурами вегетационного периода, так и особенно большим количеством осадков, что создает в Пацифическом секторе Тихоокеанского мегаэктона исключительно высокие коэффициенты атмосферного увлажнения, по существу несопоставимые с коэффициентами территорий Приамурской Субпацифики (Таблица 1).

Как известно, высокая океаничность климата Курильских островов смещает далеко на юг южную границу бореального пояса на их равнинных участках, а также снижает границы высотных поясов в горах [21, 30]. Данные WorldClim показывают, что в широколиственных и смешанных лесах бассейнов Среднего Амура и Уссури средняя температура воздуха самого теплого месяца на 3,5–5,0 °С выше, чем в аналогичных формациях южного Кунашира [23].

Таблица 1.

СРАВНЕНИЕ ВЫСОТНО-ЗОНАЛЬНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ
 МЕНДЕЛЕЕВСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ЛАНДШАФТА С АНАЛОГИЧНЫМИ
 ФОРМАЦИЯМИ ОКРАИННО-МАТЕРИКОВОГО СЕКТОРА ТИХООКЕАНСКОГО
 МЕГАЭКОТОНА ПО ОСНОВНЫМ КЛИМАТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Регионы	Высотно-поясные растительные сообщества и формации (в скобках — абс. высота, м)	Климатические параметры					
		$t_{VII-VIII}$	$\sum t \geq 10^{\circ}$	E_0 , мм	$r_{год}$, мм	$K_{увл}$	
О-в Кунашир, Менделеевский вулканический экорегион. Растительные сообщества	Равнинные и предгорные хвойно-широколиственные леса с субтропическими элементами (20–250)	16,0	1473	308	1207	3,43	
	Равнинные и низкогорные темнохвойные (пихтово-еловые) леса с неморальными элементами (120–600)	14,6	1144	280	1299	4,64	
	Субальпийское березовое криволесье с примесью ели и с кедровым стлаником в подлеске (540–700)	14,4	1097	277	1320	4,70	
	Субальпийские заросли кедрового стланика (650–800)	14,1	1027	269	1347	5,02	
Нижнее Приамурье и Средний Сихотэ-Алинь. Растительные формации	Равнинные и предгорные широколиственные и хвойно-широколиственные крупнотравные леса	ст. Неран (221) ст. Журавлевка (215)	19,6 19,8	2319 2366	616 633	865 875	1,40 1,38
	Среднегорные пихто-ельники кустарничково-травяные леса с неморальными элементами	ст. Улунга (547) ст. Ирумка (516)	16,3 16,7	1544 1638	409 427	749 761	1,83 1,78
	Северотаежные средне- и высокогорные лиственничные редкостойные леса, заросли кедрового стланика	ст. Софийский Прииск (903)	15,1	1262	368	757	2,06

Примечание. $t_{VII-VIII}$ — средняя температур самого теплого месяца, °С; $\sum t \geq 10^{\circ}$ и — сумма биологически активных температур, °С; E_0 — годовая испаряемость; $r_{год}$ — годовое количество осадков; $K_{увл}$ — коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова ($K_{увл} = r_{год}/E_0$). Названия материковых растительных формаций даны по В. Б. Сочава (1977)

Согласно климаареалам природных экосистем Северной Евразии [31], хвойно-широколиственные леса южного Кунашира, имеющие значительную примесь неморальных элементов и даже субтропических реликтов (см. ниже), по суммам биологически активных температур ($\sum t \geq 10^{\circ}C = 1140-1610^{\circ}C$) находятся в условиях северной темнохвойной тайги, т. е. должны располагаться по существу у северной границы бореального пояса. На 1,5–2,5 °С

холоднее летняя приземная атмосфера в низкогорных темнохвойных неморальнотравяных лесах Менделеевского экорегиона по сравнению с их среднегорными фитоценологическими аналогами в Буреинском и Баджалском хребтах по левобережью Среднего Амура. Суммы температур менделеевских пихто–ельников (1000–1430 °С) так же отбрасывают их в климаареалы северотаежных еловых лесов. Наконец, сообщества субальпийских кедровых стлаников в верхнем низкогорном ярусе вулкана Менделеева по $\sum t \geq 10 \text{ }^\circ\text{C} = 950\text{--}1070 \text{ }^\circ\text{C}$ сближаются с равнинной евразийской лесотундрой и находятся на наиболее низком температурном уровне, нежели их высокогорные субальпийские аналоги в хр. Дуссе–Алинь, в верховьях р. Буреи ($\sum t \geq 10 \text{ }^\circ\text{C} = 1260 \text{ }^\circ\text{C}$).

С другой стороны, своими весьма высокими значениями коэффициента увлажнения Высоцкого–Иванова ($K_{\text{увл}} = 3,43\text{--}5,02$) о–в Кунашир существенно отличается не только от упомянутых окраинно–материковых регионов с аналогичными лесными формациями ($K_{\text{увл}} = 1,40\text{--}1,80$), но и от соседних островных территорий — например, бореального Южного Сахалина и суббореального о–ва Хоккайдо (в Саппоро $K_{\text{увл}} = 1,44$). Близкий к Кунаширу уровень атмосферного увлажнения имеют только южные субтропические острова Японии ($K_{\text{увл}} = 2,90\text{--}3,60$) и черноморские субтропики Закавказья (в Батуми $K_{\text{увл}} = 3,14$).

Таким образом, атмосферные гидротермические условия территории хвойно–широколиственных и темнохвойных лесов Менделеевского вулканического экорегиона не соответствует климатическим нормам, свойственным их окраинно–материковым формациям–аналогам. Эти типы лесных сообществ являются *климатически неоправданными* и в этом смысле *экстразональными*, пришедшими из более южных природных зон с более высоким теплоэнергетическим уровнем и с более низким атмосферным увлажнением.

Предгорные хвойно–широколиственные леса и горные пихто–ельники на вулкане Менделеева отличаются весьма высоким бонитетом. По нашим наблюдениям, крупные стволы ели аянской (*Picea ajanensis* Fisch.) и пихты белокорой (*Abies nephrolepis* Max.) достигают высоты 20–25 м и диаметра на высоте груди 80–85 см. Характерен парковый облик многих участков этих лесов, «... находящихся далеко не в крайних условиях произрастания темнохвойных пород» [21, с. 67]. Отмечено также, что «признаки угнетения широколиственных пород на верхней границе их расселения отсутствуют» [7, с. 216]. Характерно, что в этих бореальных и суббореальных лесных сообществах широко представлены теплолюбивые восточноазиатские виды: дуб зубчатый и курчавый (*Quercus debtat* Thunb., *Q. crispula* Blume), ильм горный и японский (*Ulmus lociniata* Maur., *U. japonica* (Rehder) Sarg.), клен японский (*Acer japonicum* Thunb.) диморфант (*Kalopanax septemlobus* (Thunb.) Koidz.), тис остроконечный (*Taxus cuspidata* Siebold & Zucc.), магнолия (*Magnolia hypoleuca* Siebold & Zucc.), гортензия черешчатая (*Hydrangia petiolaris* Siebold & Zucc.), актинидия коломикта (*Actinidia kolomikta* (Maxim.) Maxim.), сумах сомнительный (*Toxicodendron orientale* Greene), скиммия ползучая (*Skimmia repens* Nakai) и др. Наряду с этим на дренированных местообитаниях постоянно присутствуют заросли курильского бамбука (*Sasa kurilensis* (Rupr.) Makino & Shibata), представителя берингийской флоры.

Не только широколиственные, но и хвойные леса Южных Курил насыщены реликтовыми видами. Это связано с тем, что они сохранили облик и видовой состав горных доледниковых лесов Восточной Азии благодаря практическому отсутствию четвертичных оледенений на островах и мягкому океаническому климату [3, 5]. Формирование таких лесов могло начаться еще в позднем вюрме — раннем голоцене (14–12 тыс л. н.), когда, по данным [32], произошло резкое потепление климата при низком уровне океана (на 60–80 м ниже современного уровня). Кунашир был соединен мостами с Хоккайдо и Сахалином, и это обеспечило трансгрессию сюда адаптированной к теплу неморальной и субтропической

фитобиоты [20]. Энергетическим источником дальнейшего устойчивого существования суббореальных лесов с субтропическими реликтами могли служить, по нашему мнению, термоэдафические аномалии, обусловленные широко распространенными на острове магматическими геотермами. Рассмотрим более подробно причинные механизмы этих экологических процессов.

Функциональная организация лесных сообществ

Менделеевский бореальный экорегион отличающееся от своих внутриконтинентальных аналогов более высокими показателями биологической продуктивности и накопления живого органического вещества (Таблица 2), что свойственно вообще Тихоокеанскому кольцу [33]. Хвойно-широколиственные леса Предгорий обладают такими запасами надземной живой фитомассы *BL*, которые считаются максимальными для Северо-Западной Пацифики (около 300 т/га) и даже превышают данный максимум. В кедрово-широколиственных лесах Нижнего Приамурья она едва достигает 240 т/га [14]. Пихто-ельники нижнего высотного яруса (250–500 м) по параметру *BL* = 215–230 т/га не уступают темнохвойным лесам о. Хоккайдо, Сахалина и Приморья, где значения *BL* колеблются от 130–150 до 230–280 т/га.

Таблица 2.

СРЕДНЕВЗВЕШЕННЫЕ НОРМЫ ФИТОМАСС, ПРОДУКТИВНОСТИ И КОМПЛЕКСНЫХ ПАРАМЕТРОВ БИОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ МЕНДЕЛЕЕВСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ЭКОРЕГИОНА

Функциональные параметры	Группы типов леса (см. в тексте)					
	⌋⌋	⌋⌋	⌋⌋	⌋⌋	⌋⌋	⌋⌋
<i>BL</i>	340,70	223,75	163,60	89,59	89,70	135,00
<i>PG</i>	11,16	14,95	11,75	8,62	4,18	14,19
<i>PD</i> _{д-к}	9,52	8,14	5,72	3,81	3,16	3,86
<i>PV</i> _{д-к}	3,99	3,21	2,41	1,83	1,62	1,94
<i>PD</i> _{д-к} + <i>PV</i> _{д-к}	13,51	11,35	8,13	5,64	4,78	5,80
<i>PV</i> _{об}	15,15	18,16	14,16	10,45	5,80	16,13
<i>PC</i>	24,67	26,30	19,88	14,26	8,96	19,99
<i>KR</i>	0,072	0,118	0,122	0,159	0,100	0,149
<i>KY</i>	1,68	0,54	1,31	0,46	5,95	0,46

Примечание. *BL* — общая надземная масса (т/га). Продуктивность (т/га в год): *PG* — зеленой массы почвенного покрова; *PD*_{д-к} и *PV*_{д-к} — древесной и зеленой массы деревьев и кустарников; *PV*_{об} — общей зеленой массы. *PC* — общая надземная продукция (т/га в год). *KR* — коэффициент оборота надземной фитомассы (*PC/BL*); *KY* — подстильно-опадный индекс [*ML* / (*PV*_{д-к} + *LBr* + *PG*); здесь *LBr* — опад древесно-кустарниковых ветвей и генеративных органов, *ML* — масса лесной подстилки]

Еще более значительно превышение южнокунаширских бореальных лесов по годовому производству фитобиоты (Таблица 2, Рисунок 2), и это поистине феноменальное явление. Таксономическая норма общей надземной продукции (*PC*), с максимальными значениями, достигающими 35–40 т/га×год, превышает производительность умеренных хвойных и смешанных лесов Приморья, Маньчжурии и Северо-Восточного Китая, где величина *PC* находится в пределах 11–18 т/га×год, редко достигая 21–24 т/га×год. В южной тайге Западной и Восточной Сибири, она составляют от 2,5 до 7,1 т/га×год [34]. В хвойно-широколиственных лесах Нижнего Приамурья средние значения *PC* = 8,5–9 т/га в год, а на бореальном экотоне Волжского бассейна — около 11–12 т/га×год. Близкие к Южному Кунаширу значения продуктивности (в среднем от 7–10 до 20–25 т/га×год) имеют только леса

о-вов Хонсю и Хоккайдо. По данным S. Takanashi, Y. Kosugi, Y. Tanaka, et al., в лесных экосистемах Японии продуктивность может достигать 10 т/га×год для хвойных пород и 16 т/га×год — для широколиственных [35]. В целом «запрограммированность» стратегии развития растительных сообществ на создание максимальной биомассы в лесных экосистемах островной Неопацифики выражена гораздо сильнее, нежели в их зональных аналогах на соседнем материке. По особенностям структуры и функционирования наземные экосистемы Тихоокеанского кольца представляют «... особый класс совокупностей природных образований» [33, с. 208].

Реализация принципа максимальной продуктивности, т. е. достижения наибольшего КПД лесного фитоценоза, возможна лишь при благоприятных условиях абиотической среды. Уже сам этот факт противоречит представлению о том [30, 36], что зональные типы растительных формаций на островах Северо–Западной Пацифики существуют при весьма ограниченных теплоэнергетических ресурсах. Далее, для достижения максимальной продуктивности в растительном сообществе необходимо гармоничное сочетание функций фотосинтеза и дыхания [37]. Судя по приведенным материалам по продуктивности, правомерно допустить наличие такой достаточно оптимальной взаимосвязи в функционировании лесных сообществ Менделеевского вулканического ландшафта. Соответственно можно полагать достаточно высокую степень адаптации этих «климатически неоправданных» бореальных и неморальных лесов к неблагоприятным для них условиям «холодной» океанической среды. Это обеспечивает не только их выживание, но и повышает способность к эволюционным преобразованиям. Как известно, адаптация лежит в основе всех форм эволюции экосистем, и данный механизм неизменно срабатывал в критические эпохи истории биосферы [38, 39].

Суббореальные и бореальные леса молодых вулканогенных экосистем Неопацифики отличаются от своих материковых аналогов также *структурой продукционного процесса*. Особенно высока на вулканических островах продукция зеленой массы почвенного покрова (*PG*), где значительную долю составляют, как известно, крупнотравье и заросли курильского бамбука. Для южнокунаширских хвойно–широколиственных лесов величина *PG* в максимуме достигает 28,0 т/га×год. Даже в средневзвешенной норме это составляет около 44% производимой общей надземной фитомассы, в то время как производство скелетной массы деревьев и кустарников (*PD*) не превышает 40%. Еще больший разрыв в данных параметрах (61% против 32%) имеют темнохвойные леса. В целом доля фотосинтезирующей массы в бореальных и суббореальных лесах Южного Кунашира составляет 60–70% от общей надземной продуктивности (против 35–50% на материке). Мощное производство зеленой массы, идущей ежегодно в опад, дает толчок существенному ускорению биологического круговорота, что и подтверждается комплексными параметрами метаболизма (*KR*, *KY*, Таблица 2).

Таким образом, экстразональные, т. е. выходящие за рамки внутриматериковых зональных норм, показатели продуктивности и биологического круговорота в суббореальных и бореальных лесах молодых островодужных экосистем бореальной Неопацифики свидетельствуют о высокоэффективной работе их почвенно–биотического ядра. Интенсификация метаболизма направлена на обеспечение функциональной устойчивости и структурного развития лесных сообществ. Это позволяет живой надземной фитомассе достичь значений, приближающихся к максимуму во внутриконтинентальных экорегионах и даже превышающих его.

Выделяются две основные черты распределения в Менделеевском ландшафте запасов живой надземной фитомассы и продуктивности лесов (Рисунок 3):

- 1) общее снижение этих показателей с абсолютной высотой и
- 2) доминирование охотоморского сектора над тихоокеанским по высотнo–поясным значениям BL и PC .

Если первое явление логично объясняется биоклиматической высотной поясностью, то причинные механизмы второго, по-видимому, более сложны. Здесь проявляются как упомянутая выше циркуляционно–экспозиционная зональность, наиболее благоприятная для фитобиоты охотоморского сектора, так и преобладающее в этом же секторе воздействие вулканических геотерм на эдафотопы (см. ниже).

Тепловой баланс островодужных лесов

Общее снижение границ биоклиматических поясов и природных зон на юг в островной Неопацифике по сравнению с соседними материками, с одновременным меридиональным сжатием самих поясов и зон (см. выше), традиционно объясняется недостатком на островах теплоэнергетических ресурсов [30, 36, 39]. Однако причина всех этих биогеографических явлений в пределах северо–западных островов Тихого океана была найдена нами в гораздо более сложных ландшафтнo–геофизических процессах. Прежде всего, в отличие от внутриматериковых районов температуры вегетационного периода на островах снижаются больше, чем уменьшаются суммарная солнечной радиации и радиационный баланс (Рисунок 4). Так, по сравнению с южнотаежными и лесостепными районами юго–восточного Забайкалья на о–ве Кунашир сумма радиационного баланса за период май–сентябрь снижается на 4–11%, а температура самого теплого месяца — на 16–21%.

В целом при одном и том же радиационном балансе вегетационного периода ($B_{вп}$) разница в средней температуре самого теплого месяца ($t_{тм}$) между внутри– и окраинно–материковыми секторами (1), с одной стороны, и сектором островным (2), — с другой, в бореальной Евразии составляет около 3,0–3,5 °С.

Отмеченная выше исключительно высокая продуктивность островодужных лесов должна быть обеспечена более значительными затратами тепла на транспирацию. Последняя, как известно [40], составляет львиную долю суммарного испарения с сомкнутого растительного покрова при $K_{увл} > 1$. Нами проведены расчеты таких затрат для двух экорегионов: Нижнего Приамурья и юга о–ва Кунашир, — по лесным сообществам–аналогам (хвойно–широколиственным и темнохвойным). При незначительной в общем разнице в радиационном балансе контрасты в затратах тепла на транспирацию оказались просто поразительными. В Нижнем Приамурье эти затраты на общую продукцию и производство суммарной зеленой массы в смешанных лесах составляют соответственно 26–28% и 17–19% от $B_{вп}$, а в пихто–ельниках снижается до 14% и 7%. В смешанных и хвойных лесах Волжского бассейна величина продуктивной транспирации составляет 260–300 мм, с энергетическим эквивалентом 650–750 МДж/м², что достаточно близко к Нижнему Приамурью.

В Менделеевском же островном экорегионе для аналогичных групп бореальных лесов транспирационная доля расходов $B_{вп}$ достигает 71–73% по общей продукции и 52–58% по зеленой массе. Еще более высоки контрасты в затратах тепла на производство зеленой массы почвенного покрова (33–42% против 1–2%), что и объясняет известное явление гигантизма в травостое островных и прибрежно–морских экосистемах Северо–Западной Неопацифики. На о–ве Кунашир на развитие бамбучников и крупнотравья тратится не менее одной трети теплового баланса вегетационного периода.



Рисунок 4. Корреляционные связи средней температуры самого теплого месяца с радиационным балансом вегетационного периода. Долготные секторы Тихоокеанского мегаэктона: 1 — окраинно-материковый (Субпацифика — Нижнее Приамурье, Приморье) и внутриконтинентальный (Палеопацифика — Центральное и Южное Забайкалье, Среднее Приамурье); 2 — островной и полуостровной (Неопацифика — Курильские острова, Южный Сахалин, Южная Камчатка). Приведены названия метеостанций

При таких аномально высоких затратах остаточной радиационной энергии на транспирацию существенно уменьшается доля турбулентного теплообмена земной поверхности с атмосферой, что и вызывает понижение температуры вегетационного периода, с соответствующими изменениями зональных гидротермических параметров в Неопацифическом секторе Тихоокеанского мегаэктона и с упомянутым выше сдвигом зональных границ на юг. Однако расхожее представление о снижении широтно-зональных норм теплоэнергетических ресурсов в Северо-Западной Неопацифике, основанное на температурных показателях, по-видимому, нуждается в существенной корректировке, с учетом структуры расходных статей теплового баланса. По этой структуре внутриконтинентальные и даже окраинно-материковые территории резко отличаются от островных океанических. В противном случае невозможно объяснить кажущееся парадоксальное явление — аномально высокую продуктивность природных экосистем островной Неопацифики при относительно низкой температуре вегетационного периода, которая выдается за показатель «теплоэнергетических ресурсов». Таким показателем следует считать, несомненно, сам радиационный баланс.

С другой стороны, в результате сокращения на островах Северо-Западной Неопацифики расходов остаточной радиации на турбулентный теплообмен возрастает структурное и функциональное разнообразие региональных и локальных растительных сообществ в рамках одних и тех же фоновых (зональных) условий. Абиотическая среда становится территориально более контрастной. В локальных местоположениях снижение

температуры идет вплоть до уровня, критического для данной зональной растительной формации. Именно в таких критических условиях возникают новые внутризональные типы экологических систем [39]. Значительное видовое разнообразие в зональных и экстразональных типах растительного покрова в районе вулкана Менделеева подтверждает это теоретическое положение глобальной экологии [21].

Экологическая роль вулканических геотерм в лесообразовании

По результатам температурной съемки почв в районе вулкана Менделеева впервые проведены количественные оценки вклада геотерм (парогидротерм, по геологической терминологии) в *теплоэнергетическую базу* формирования и развития островодужных лесных сообществ. Речь идет о разгрузке магматической энергии подводными каналами флюидных систем (см. выше). Сопряженный анализ структур термических ниш почвы на разных глубинах позволил получить общее представление о распространении и интерференции в почвенной толще тепловых волн, идущих от двух альтернативных источников — солнечной радиации и магматических геотерм.

Общее понижение температуры почвы с высотой происходит в нижнем ярусе низкогорья (выше 150 м), где начинается высотный пояс темнохвойных лесов. Переход к среднему ярусу знаменуется столь же резким повышением температуры почвы на всех измеренных глубинах (вплоть до 70 см). Почва здесь имеет такую же и даже более высокую температуру, чем это было в предгорных смешанных лесах. Спорадический рост температуры начинается уже после абс. отметки 320 м, а начиная с 500-метрового уровня этот рост приобретает тотальный характер (Рисунок 5). По всему эллипсу разломов, охватывающему средний и верхний высотные ярусы вулкана Менделеева, прослеживается наличие близко расположенных к дневной поверхности подводных каналов магматических геотерм, которые и вызывают *феноменальное явление на склонах и у подножий вулкана — аномальное повышение температуры коренных пород и почвы*. В целом вырисовывается *инверсионное высотно-поясное распределение летней температуры почвы*, с соответствующими ее значениями для флористических фратрий и групп типов леса. Наиболее холодными оказываются почвы предгорных хвойно-широколиственных лесов ($t_{40} = 10,5-13,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), а наиболее теплыми ($t_{40} = 16,0-18,0\text{ }^{\circ}$) — почвы горного пихто-елового пояса (спорадически вплоть до его границы с буферными кедровостланиково-березово-еловыми сообществами).

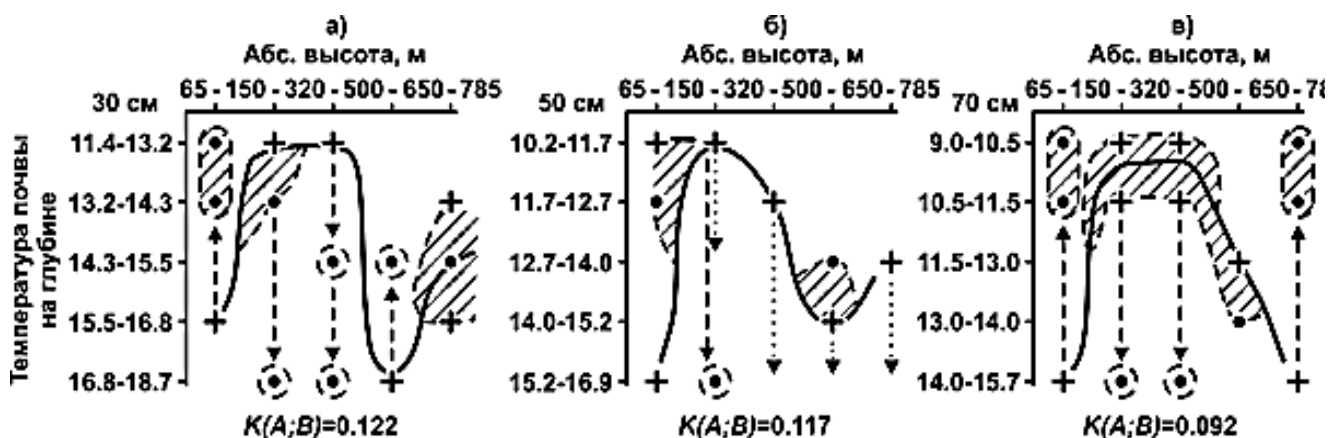


Рисунок 5. Вулкан Менделеева. Изменения температуры почвы с абсолютной высотой на разных глубинах (температура приведена к 10 августа 1985 г.)

Карта температурных аномалий в почве на глубине 40 см (Δt_{40}), представленная на Рисунке 6а, создавалась по уравнению:

$$\Delta t_{40} = -0,0005186 \times (X-Y) / 2^{1/2}_{-4.51} - 0,0005194 \times D_{\text{Мечн}} - 4.16 + 0,3572 \times \text{rot}^{\Pi}_{+3.38} - 0,4395 \times H^{\Pi}_{-2.36} + 7531; \quad R^2 = 0,660 (\text{Degr} = 17,3\%); \quad P < 10^{-5}. \quad (10)$$

Здесь предиктор $(X-Y)/2^{1/2}$ означает кратчайшее расстояние точки до юго-восточного побережья; $D_{\text{Мечн}}$ — минимальное расстояние от вершины г. Мечникова (Рисунок 1); H^{Π} — характеристика степени вогнутости форм рельефа. Параметр расчлененности рельефа rot^{Π} показывает, что почвенная температура имеет тенденцию возрастать на сильно расчлененных формах. Нижний индекс при каждом предикторе есть t -статистика, модуль которой определяет значимость вклада предиктора в пространственную изменчивость температуры. R^2 — коэффициент детерминации, P — статистика, характеризующая вероятность ошибки в установлении статистической зависимости.

Аналогичное уравнение было получено для построения карты температурных аномалий в почве на глубине 70 см (Рисунок 6б). Верификация моделей осуществлялась по методике кросс-валидации Аллена [41]. Использовался принятый эмпирический критерий деградации модели (Degr): при $\text{Degr} < 50\%$ предсказательная сила модели признавалась достаточной для построения карт.

Как видим, летние температурные аномалии в почве выражены преимущественно в охотоморском секторе вулкана Менделеева, что объясняется наиболее эффективным проявлением здесь выводных парогазовых каналов. Геотермальный эффект усиливается также при подъеме по склонам к вершине г. Мечникова. Наконец, температурные аномалии возрастают при усилении эрозионной расчлененности рельефа и на вогнутых формах (чем больше формы близки к депрессиям, оврагам, долинам, тем выше аномалии).

Характерно, что в более глубоких слоях почвы (70 см) максимальные температурные аномалии приурочены к верхней части вулканического купола (главным образом его охотоморского сектора), куда подходят флюидные очаги парогидротерм. Ближе к дневной поверхности происходит латеральное распространение газо-паровых потоков по плоскостям напластования рыхлой пирокластики, поэтому на 40-сантиметровой глубине ареал наибольших температурных аномалий охватывает гораздо большие площади и смещается в целом к подножью вулкана этого же сектора (Рисунок 6).

Одной из причин устойчивого существования и развития «климатически неоправданных» лесов в неблагоприятных для них условиях «холодной» океаничности следует искать, очевидно, в положительном компенсирующем влиянии термоэдафотопов, находящихся под достаточно мощным воздействием магматических гидротерм. Для проверки выдвинутой гипотезы были выполнены описанные выше расчеты *виртуальной (климатически обусловленной) средней августовской температуры почвы* на глубинах 30, 40, 50 и 70 см. Затем было проведено сравнение их с реальными почвенными температурами, и на основе пропорциональных соотношений последних с реальной же температурой воздуха были получены так называемые *эквивалентные средние августовские температуры воздуха*. Последние отображают суммарное воздействие климатического и геотермического факторов в предположении, что геотермический фактор полностью заменен климатическим (Таблица 3).

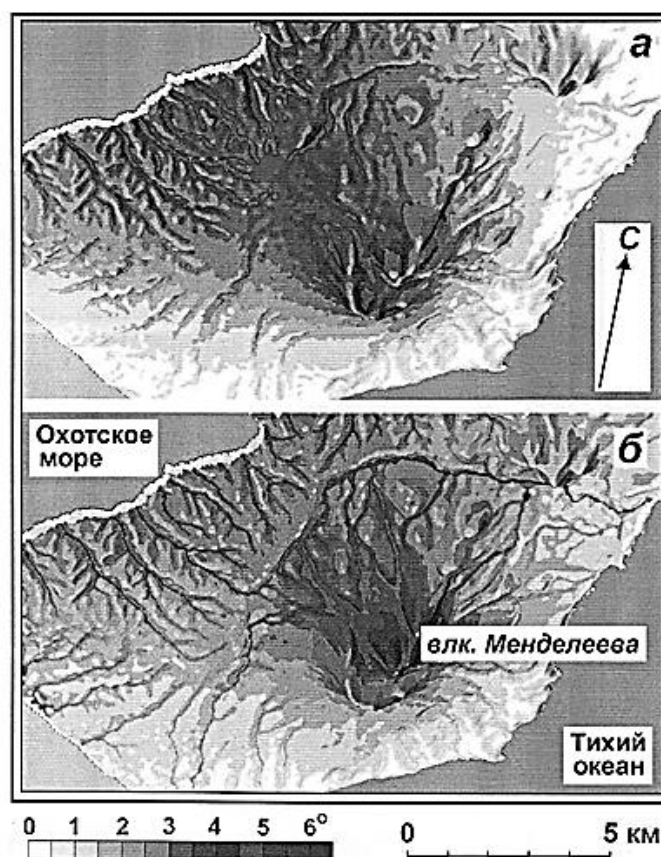


Рисунок 6. Карты температурных аномалий в почве на глубинах 40 см (а) и 70 см (б) по территории Менделеевского вулканического экорегиона

Таблица 3.

ТАКСОНОМИЧЕСКИЕ НОРМЫ ТЕМПЕРАТУРНЫХ АНОМАЛИЙ В ПОЧВЕ (°С) ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП ТИПОВ ЛЕСА МЕНДЕЛЕЕВСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ЛАНДШАФТА И СООТВЕТСТВУЮЩИЙ ЭТИМ АНОМАЛИЯМ ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СРЕДНЕЙ АВГУСТОВСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА, А ТАКЖЕ ЕЕ ПРИРОСТ

Группы типов леса (см. в тексте)	Средняя августовская температура воздуха	Температурные аномалии в почве на глубинах, см					Эквивалентная средняя августовская температура воздуха и ее прирост	
		30	40	50	70	сред-нее	эквивалентная температура	прирост температуры
↑0	16,1	2,5	2,0	2,4	2,4	2,3	19,2	3,1
↑↑	14,9	3,8	3,5	3,1	3,0	3,4	19,7	4,8
↻↑	14,4	1,7	2,3	3,0	3,3	2,6	18,3	3,9
↻↻	14,3	3,7	3,0	2,9	2,1	2,9	18,9	4,6
↻↻	13,9	3,1	3,0	2,3	2,1	2,6	18,1	4,2
↻↻↑	14,4	4,5	4,0	4,0	3,6	4,0	19,0	4,6

Мера воздействия парогазовых геотерм на теплоэнергетический уровень вулканических ландшафтов оказалась достаточно существенной. Она достигала максимума (4,6–4,8 °С, прирост с 14,3–14,9 °С до 19,0–19,7 °С) в поясе горных темнохвойных лесов и в полосе их перехода в каменноберезовое криволесье, где проявляется наибольшая активность геотерм. У подножий вулкана и на предгорных равнинах, где влияние геотерм ослаблено, эквивалентные температуры понижены, хотя прибавка температур остается более 3 °С.

Таким образом, геотермический подогрев эдафотопов на склонах и у подножий вулканов Курильской гряды — не исключительное, а массовое явление в гидротермическом режиме лесных экосистем островодужных экорегионов. Благодаря этому, лесные сообщества вулкана Менделеева сформировались и функционируют в таких же теплоэнергетических условиях, как и их окраинно–материковые аналоги. Получая дополнительное тепло от геотерм, они достигают своей зональной и высотно–поясной гидротермической нормы. Действующий вулкан восполняет им недостаток климатического ресурса, обеспечивает тем самым устойчивое функционирование и структурное оформление этих «климатически неоправданных» лесов. Геотермы вулкана Менделеева способствовали трансгрессии в данный бореальнолесной экорегион более южных видов и целых сообществ. По-видимому, именно геотермический фактор способствовал в Северо–Западной Пацифике «сборности флоры», по терминологии В. М. Урусова (1988), — объединению генетически и экологически разнородных элементов в смешанные (буферные) сообщества, с последующим адаптивным преобразованием экологических ниш этих элементов) [4].

Вулкан Менделеева — не единственный образец геотермального воздействия на почвы и растительность вулканических островов. Яркий лесообразующий пример дает действующий вулкан Тятя, и частично, вулкан Руруй на крайнем северо–востоке о–ва Кунашир. Растительный покров этого района составляют равнинные и горные пихтово–еловые леса с каменной березой (*Betula ermanii* Cham.) и бамбуком, а выше 500–600 м — каменноберезовое криволесье с кедровым стлаником. На таком фоне явную аномалию представляют «островки» растительности в бассейне р. Тятина на высотах 200–600 м, где встречается масса фумарол. Это елово–пихтовые папоротниково–моховые лиановые леса, с присутствием неморальных элементов (дуба) и даже субтропических реликтов (диморфанта, магнолии, тиса). Такие леса достаточно близки лесному покрову далеких отсюда предгорных равнин юго–западной части острова (окрестностей вулкана Менделеева и соседней кальдеры Головнина), хотя, согласно Д. П. Воробьеву (1963) и П. В. Крестову (2006) они отделены от него геоботаническим биоклиматическим рубежом высокого ранга [2, 6]. Да и в самой кальдере Головнина по берегам озер Горячее и Кипящее возникли ареалы–рефугиумы экстразональных дубово–каменноберезово–кленовых сообществ, обогащенных субтропическими породами, причем эти леса находятся гипсометрически выше господствующего здесь пояса пихто–ельников.

Весьма показательна также геоботаническая картина на о–ве Итуруп [8]. Зональными типами растительности здесь являются каменноберезовые леса и криволесья, с небольшими массивами пихто–ельников на юго–западе острова. Центральный же расширенный участок острова, по которому проходит хр. Грозный с цепочкой действующих вулканов и с выходами горячих источников, представляет явную флоро– и фитоценотическую аномалию. Верхний горно–лесной пояс образуют каменноберезняки с примесью широколиственных пород. В предгорьях они сменяются так же более ксерофильными дубовыми лесами, с лиственницей курильской (*Larix kurilensis* Mayr) и каменной березой, с подлеском из падуба морщинистого (*Ilex rugosa* F. Schmidt).

Итак, геотермический фактор способен преодолеть весьма крупный биоклиматический рубеж, а геотермическая энергия пассивно действующих вулканов является фактором не только сохранения, но и ускоренной эволюции островной фитобиоты. Под воздействием геотерм на вулканических островах происходит перестройка лесного покрова в направлении роста его флоро– и фитоценотического разнообразия.

Заключение

1. Установлено, что интенсивная годовая оборачиваемость надземной фитобиоты и высокая скорость всего биологического круговорота в островодужных бореальных экосистемах Северо–Западной Пацифики служат главными факторами их устойчивости в условиях «холодной» океаничности и наряду с вулканическими геотермами способствуют формированию бореальных и суббореальных «климатически неоправданных» лесов. Островные лесные сообщества на юге бореального пояса характеризуются таким годовым оборотом растительного вещества, который относится к категории интенсивного метаболизма и по зональным меркам свойствен лишь субтропическим лесам. Это означает исключительно высокую системообразующую роль лесной фитобиоты в становлении и развитии молодых вулканических ландшафтов.

2. Результаты численного моделирования воздействий вулканических геотерм (парогидротерм) на температурный и влажностный режим почв и соответственно на структуру лесных сообществ показали, что это воздействие способствует устойчивому развитию привулканических бореальных лесных сообществ с обогащением их суббореальными видами и субтропическими реликтами. Флюидные магматические системы и выходящие от них фумаролы в телах постоянно возникающих, растущих, а затем разрушающихся вулканических построек служили в прошлом и остаются в настоящем одним из энергетических факторов эволюционных преобразований островной растительности в условиях вулканизма. Геотермический подогрев эдафотопов на склонах и у подножий вулканов Курильской гряды — не исключительное, а массовое явление в термическом режиме островодужных экорегионов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 14–05–00032–а.

Список литературы:

1. Tatewaki M. Geobotanic studies on the Kurile island // Acta Horti Gotoburgensis. 1957. 21, №2. P. 43-123.
2. Воробьев Д. П. Растительность Курильских островов. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 92 с.
3. Попов Н. А. Леса Южных Курильских островов и перспективы их использования // Труды конференции. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1963. С. 59-69.
4. Урусов В. М. Генезис растительности и рациональное природопользование на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИГ ДВО АН СССР, 1988. 356 с.
5. Nakamura Y., Krestov P. V. Coniferous forests of the temperate zone of Asia // Coniferous forests. Ser. Ecosystems of the World. 2005. Vol. 6. P. 163-220.
6. Крестов П. В. Растительный покров и фитогеографические линии Северной Пацифики: автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. Владивосток, 2006. 42 с.
7. Урусов В. М., Чипизубова М. Н. Общие закономерности географического распределения формаций и типов растительности. Генезис растительности // Геосистемы Дальнего Востока России на рубеже XX–XXI веков. Том I. Природные геосистемы и их компоненты. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 203–220.
8. Атлас Курильских островов. Ред. кол.: В. М. Котляков, П. Я. Бакланов, Н. П. Комедчиков (гл. ред.) и др. Отв. ред. картограф Е. Я. Федорова. Владивосток: ИПЦ «ДИК», 2009. 516 с.
9. Kojima S. Classification and ecological characterization of coniferous forest phytogeocoenoses of Hokkaido, Japan // Vegetation. 1991. Vol. 96. P. 25–42.

10. Igarashi Y. History of environmental change in Hokkaido from the viewpoint of Palynological research // Biodiversity and Ecology in the Northernmost Japan. Sapporo: Hokkaido University, 1993. Press. P. 1–19.
11. Hulten E. Flora of the Aleutian Islands and westernmost Alaska Peninsula with notes on the flora of the Commander Islands. 2nd ed Weinheim. 1960. 400 p.
12. Hopkins D. M. The paleogeography and climatic history of Beringia during late Cenozoic Time // Inter-Nord. 1972. Vol. 12. P. 152–174.
13. Stinson G., Kurz W. A., Smyth C. E., et al. An inventory-based analysis of Canada's managed forest carbon dynamics, 1990 to 2008 // Global Change Biology. 2011. Vol. 17. P. 2227–2244.
14. Коломыц Э. Г. Тихоокеанский мегаэктон Северной Евразии как эволюционная модель континентальной биосферы // Известия РАН. Серия геогр. 2015. № 6. С. 24–37.
15. Сочава В. Б. Географические аспекты сибирской тайги. Новосибирск: Наука, 1980. 256 с.
16. Горшков Г. С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 288 с.
17. Злобин Т. К., Абдурахманов Л. И., Злобина Л. М. Глубинные сейсмические исследования вулкана Менделеева на Южных Курилах // Тихоокеан. геология. 1997. Т. 16. № 4. С. 79-87.
18. Летников Ф. А. Флюидный режим эндогенных процессов в континентальной литосфере и проблемы металлогении // Проблемы глобальной геодинамики. М.: ГЕОС, 2000. С. 204-224.
19. Козлов Д. Н., Жариков Р. В. Тепловизионная съемка активных вулканов Курильских островов в 2009-2011 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. № 1, Вып. 19. С. 1-7.
20. Pietsch T. W., Bogatov V. V., Amaoka K., et al. Biodiversity and biogeography of the islands of the Kuril Archipelago // Journ. of Biogeogr. 2003. Vol. 30. P. 1297-1310.
21. Манько Ю. И., Розенберг В. А. Высотная поясность растительности на вулкане Менделеева // Биол. ресурсы о. Сахалин и Курильских островов. Владивосток: Биолого-почв. ин-т ДВНЦ АН СССР, 1970. С. 65-71.
22. Коломыц Э. Г. Локальные механизмы глобальных изменений природных экосистем. М.: Наука, 2008. 427 с.
23. Hijmans R. J., Cameron S. E., Parra J. L., et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // International Journal of Climatology. 2005. Vol. 25. № 15. P. 1965-1978.
24. Wood J. Overview of software packages used in geomorphometry // T. Hengl, H. I. Reuter (Eds.). Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science, Volume 33. Amsterdam, etc.: Elsevier, 2009. Chap. 10. P. 257-267.
25. Димо В. Н. Расчетный метод определения температуры почвы // Бюлл. Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева. 1967. Вып. 1. С. 88-99.
26. Протопопов В. В. Средообразующая роль темнохвойного леса. Новосибирск: Наука, 1975. 328 с.
27. Молчанов А. А. Лес и климат. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 279 с.
28. Таранков В. И. Микроклимат лесов Южного Приморья. Новосибирск: Наука, 1974. 223 с.
29. Shary P. A., Sharaya L. S., Mitusov A. V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis // Geoderma. 2002. Vol. 107. № 1-2. P. 1-32.
30. Марков К. К. ред. Физическая география Мирового Океана. Л.: Наука, 1980. 362 с.

31. Базилевич Н. И., Гребенщиков О. С., Тишков А. А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука. 1986. 297 с.
32. Короткий А. М., Волков В. Г., Гребенникова Т. А., и др. Дальний Восток // Изменение климата и ландшафтов за последние 65 миллионов лет. М.: ГЕОС, 1999. С. 146-164.
33. Базилевич Н. И. Продуктивность, энергетика и биогеохимия наземных экосистем Тихоокеанского кольца // Вопросы географии. 1981. Сб. 117. М.: Мысль. С. 146-208.
34. Базилевич Н. И., Титлянова А. А. Биологический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 380 с.
35. Takanashi S., Kosugi Y., Tanaka Y., et al. CO₂ exchange in a temperate Japanese cypress forest compared with that in a cool-temperate deciduous broad-leaved forest // Ecological Research. 2005. Vol. 20. P. 313-324.
36. Иванов А. Н. Проблемы островного ландшафтоведения // Вопросы ландшафтоведения. Вып. 138. Горизонты ландшафтоведения. М.: «Кодекс», 2014. С. 138-158.
37. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 264 с.
38. Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н. Н., Яблоков А. В. Краткий очерк теории эволюции. М.: Наука, 1969. 407 с.
39. Будыко М. И. Эволюция биосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 488 с.
40. Раунер Ю. Л. Тепловой баланс растительного покрова. М.: Наука, 1972. 210 с.
41. Allen D. M. The relationship between variable selection and data augmentation and a method for prediction // Technometrics. 1974. Vol. 16. P. 125-127.

References:

1. Tatewaki, M. (1957). Geobotanic studies on the Kurile island. *Acta Horti Gotoburgensis*, 21 (2). 43-123.
2. Vorobyov, D. P. (1963). Vegetation of the Kuril Islands. M.-L.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 92.
3. Popov, N. A. (1963). Forests of the Southern Kuril Islands and prospects for their use. Proceedings of the conference. Krasnoyarsk: Institute of Forest and Wood, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 59-69.
4. Urusov, V. M. (1988). Genesis of vegetation and rational nature management in the Far East. Vladivostok: TIG DVO AS USSR, 356.
5. Nakamura, Y., & Krestov, P. V. (2005). Coniferous forests of the temperate zone of Asia. *Coniferous forests. Ser. Ecosystems of the World*, (6). 163-220.
6. Krestov, P. V. (2006). Vegetative cover and phytogeographic lines of the Northern Pacific: avtoref. diss. ... Dr. Biol. sciences. Vladivostok, 42.
7. Urusov, V. M., & Chipizubova, M. N. (2008). General regularities of the geographical distribution of formations and types of vegetation. Genesis of vegetation. Geosystems of the Far East of Russia at the turn of the XX-XXI centuries. Vladivostok: Dal' Science, 203-220.
8. The Atlas of the Kuril Islands. (2009). Ed. count: V. M. Kotlyakov, P. Ya. Baklanov, & N. P. Komedchikov (Ed.) And others. Ed. cartographer E. Ya. Fedorov. Vladivostok: CPI DIC, 516.
9. Kojima, S. (1991). Classification and ecological characterization of coniferous forest phytogeocoenoses of Hokkaido, Japan. *Vegetation*, (96). 25-42.

10. Igarashi, Y. (1993). History of environmental change in Hokkaido from the viewpoint of Palynological research. *Biodiversity and Ecology in the Northernmost Japan. Sapporo: Hokkaido University, Press.* 1–19.
11. Hulten, E. (1960). Flora of the Aleutian Islands and westernmost Alaska Peninsula with notes on the flora of the Commander Islands. *2nd ed Weinheim.* 400.
12. Hopkins, D. M. (1972). The paleogeography and climatic history of Beringia during late Cenozoic Time. *Inter-Nord*, (12). 152–174.
13. Stinson, G., Kurz, W. A., & Smyth C. E., et al. (2011). An inventory-based analysis of Canada's managed forest carbon dynamics, 1990 to 2008. *Global Change Biology*, (17). 2227–2244.
14. Kolomits, E. G., (2015). Pacific Mega-Ecotone of Northern Eurasia as Evolutionary Model of Continental Biosphere. *Regional Research of Russia*, (6). 24-37.
15. Sochava, V. B. (1980). Geographical aspects of the Siberian taiga. Novosibirsk: *Science*, 256.
16. Gorshkov, G. S. (1967). Volcanism of the Kuril island arc. Moscow: *Science*, 288.
17. Zlobin, T. K., Abdurakhmanov, L. I., & Zlobina, L. M. (1997). Deep seismic studies of the Mendeleev volcano in the Southern Kuriles. *Pacific. Geology*, 16 (4). 79-87.
18. Letnikov, F. A. (2000). A Fluid Regime of Endogenous Processes in the Continental Lithosphere and Problems of Metallogeny. Problems of Global Geodynamics. Moscow: *GEOS*, 204-224.
19. Kozlov, D. N., & Zharikov R. V. (2012). Thermal imaging of active volcanoes of the Kurile Islands in 2009-2011. *Herald of KRAUNTS. Earth sciences*, 1 (19). 1-7.
20. Pietsch1, T. W., Bogatov, V. V., & Amaoka, K., et al. (2003). Biodiversity and biogeography of the islands of the Kuril Archipelago. *Journ. of Biogeogr*, (30). 1297-1310.
21. Manko, Yu. I., & Rozenberg, V. A. (1970). Altitudinal zonality of vegetation on Mendeleev volcano. Biol. resources about. Sakhalin and the Kuril Islands. Vladivostok: *Biological soil. Institute of the Far-Eastern Scientific Center of the Academy of Sciences of the USSR*, P. 65-71.
22. Kolomits, E. G. (2008). Local mechanisms of global changes in natural ecosystems. Moscow: *Science*, 427.
23. Hijmans, R. J., Cameron, S. E., & Parra, J. L., et al. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25 (15). 1965-1978.
24. Wood, J. (2009). Overview of software packages used in geomorphometry. Amsterdam, etc.: *Elsevier, Chap.* 10. 257-267.
25. Dimo, V. N. (1967). A calculation method for determining the soil temperature. *Bull. Soil Institute. V. V. Dokuchaev*, (1). 88-99.
26. Protopopov, V. V. (1975). The mediating role of dark coniferous forest. Novosibirsk: *Science*, 328.
27. Molchanov, A. A. (1961). Forest and climate. Moscow: *Publishing House of the USSR Academy of Sciences*, 279.
28. Tarankov, V. I. (1974). Microclimate of the forests of the Southern Primorye. Novosibirsk: *Science*, 223.
29. Shary, P. A., Sharaya, L. S., & Mitusov, A. V. (2002). Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma*, 107 (1-2). 1-32.
30. Markov, K. K., ed. (1980). Physical geography of the World Ocean. L.: *Science*, 362.
31. Bazilevich, N. I., Grebenshchikov, O. S., & Tishkov, A. A. (1986). Geographic patterns of the structure and functioning of ecosystems. Moscow: *Science*, 297.
32. Korotkii, A. M., Volkov, V. G., & Grebennikova, T. A., et al. (1999). The Far East. Climate and landscape change for the last 65 million years. Moscow: *GEOS*, 146-164.

33. Bazilevich, N. I. (1981). Efficiency, energy and biogeochemistry of terrestrial ecosystems of the Pacific ring. Questions of geography. Moscow: *Thought*. 146-208.
34. Bazilevich, N. I., & Titlyanova A. A. (2008). Biological circulation on five continents: nitrogen and ash elements in natural terrestrial ecosystems. Novosibirsk: *Izdatel'stvo SB RAN*, 380.
35. Takanashi, S., Kosugi, Y., & Tanaka, Y., et al. (2005). CO₂ exchange in a temperate Japanese cypress forest compared with that in a cool-temperate deciduous broad-leaved forest. *Ecological Research*, (20). 313-324.
36. Ivanov, A. N. (2014). Problems of Island Landscape Studies, in: Problems of Landscape Studies. (138). Horizons of landscape studies. Moscow: *Kodeks*, 138-158.
37. Tooming, H. G. (1984). Ecological principles of maximum productivity of crops. L.: *Gidrometeoizdat*, 264.
38. Timofeev-Resovsky, N. V., Vorontsov, N. N., & Yablokov, A. V. (1969). A short sketch of the theory of evolution. Moscow: *Science*, 407.
39. Budyko, M. I. (1984). Evolution of the biosphere. L.: *Gidrometeoizdat*, 488.
40. Rauner, Yu. L. (1972). Thermal balance of vegetation cover. Moscow: *Science*, 210.
41. Allen, D. M. (1974). The relationship between variable selection and data augmentation and a method for prediction. *Technometrics*, (16). 125-127.

*Работа поступила
в редакцию 25.06.2018 г.*

*Принята к публикации
29.06.2018 г.*

Ссылка для цитирования:

Коломыц Э. Г., Шарая Л. С., Сулова Н. А. Климатически неоправданные бореальные леса Южно-Курильских островов // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №7. С. 48-70. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/kolomyts> (дата обращения 15.07.2018).

Cite as (APA):

Kolomyts, E., Sharaya, L., & Surova, N. (2018). Climatically unjustified boreal forests in the South-Kuril Islands. *Bulletin of Science and Practice*, 4(7), 48-70.