

УДК 574.45:631.417.1/2

**ШИРОТНЫЕ И МЕРИДИОНАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСОВ ФИТОМАССЫ, ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРА РОССИИ ОТ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА ДО ЧУКОТКИ**

О. В. Честных, Д. В. Карелин, Д. Г. Замолодчиков

*(кафедра сравнительной зоологии позвоночных животных и общей экологии)*

По большинству существующих климатических сценариев арктические и бореальные наземные экосистемы оказываются наиболее чувствительными к глобальным изменениям климата и в свою очередь по принципу обратной связи способны оказывать воздействие на такие изменения. В значительной степени эти связи осуществляются через баланс углерода в биосфере. Отсюда вытекает важность оценки глобальных параметров углеродного баланса, куда входят фиксация углерода при фотосинтезе и его депонирование в фитомассе и почвенном гумусе наземных экосистем. Запас общей живой фитомассы и почвенное органическое вещество служат двумя основными резервуарами углерода для этих типов наземных экосистем.

Накопленный в этой области за последние годы первичный материал нуждается в осмыслении и статистической обработке с целью выявления существующих закономерностей и взаимосвязи этих и других параметров углеродного цикла на региональном уровне. Это позволяет в некоторых случаях заменить отсутствующую труднодоступную информацию не субъективными, но вполне корректными оценками. Установление количественных связей с глобальными климатическими параметрами на экорегиональном уровне также имеет, на наш взгляд, большее практическое значение, чем использование для прогностических целей и в моделировании обобщающих уравнений по всем типам наземных экосистем (Lieth, 1975), как это часто практикуется.

В этом ключе мы осуществили предварительный синтез и анализ большого количества эмпирических данных по фитомассе, первичной продукции, климату и запасам органического вещества почвы двух основных природных зон севера России.

Материалы и методы. Одним из источников эмпирической информации по фитомассе и первичной продукции послужил банк данных, любезно предоставленный проф. Н. И. Базилиевич и впоследствии вошедший как составная часть в ее компьютерную базу данных (Базилиевич, 1992). В использованном здесь рабочем варианте с нашими дополнениями эта база содержит около 400 точек по разным типам растительных сообществ — от полярных пустынь до лесов южной тайги. В качестве первичной информации мы старались использовать только оригинальные эмпирические данные, полученные из литературы (более 150 источников). Экстраполяции допускались только в особо доверительных случаях.

В качестве важнейших характеристик для представленных экосистем мы использовали общий запас фитомассы, включая сюда надземную и подземную части (в тоннах на 1 га сухого органического вещества), и первичную продукцию растительных сообществ (в тоннах на 1 га в год сухого органического вещества).

Другим источником информации был собранный нами банк почвенных параметров, из которого было отобрано 250 точек в интересующих нас регионах. В качестве характеристики для сравнения выбрано суммарное содержание органического вещества в почве (в тоннах на 1 га органического вещества). Эту величину рассчитывали для каждого разреза, исходя из сведений о глубине горизонта, значений объемной массы и процентного содержания гумуса (включая гор. А0) для каждого горизонта данного разреза, после чего все полученные значения суммировали. Таким образом, методика расчета включала как запасы органического вещества в верхних

горизонтах, которые могут быть отнесены к подстилке, так и в заторфованных горизонтах подзолисто-болотных почв. Запасы органического вещества почвы рассчитывали для всего слоя почвы, приведенного в соответствующем литературном источнике. Толщина слоя разных типов почв колебалась от 20 до 100 см.

Глобальные климатические параметры были представлены среднегодовой суммой осадков за летний период (в миллиметрах за 4 мес — с июня по сентябрь) и среднемесячной температурой воздуха (°С). В рассмотрение вошли данные по всем метеостанциям, расположенным на территориях соответствующих ландшафтных экосистем. Усреднение проводили с учетом среднезвешенности по продолжительности многолетних метеорологических наблюдений на конкретных станциях.

Первоначально в рассмотрение были включены все ландшафтные экосистемы России на территории севернее 60° с. ш. Основной для сравнения послужила ландшафтная карта России масштаба 1 : 4 000 000 (Исаченко и др., 1988). Точки с известными значениями запасов фитомассы, органического вещества почвы, первичной продукции и климатических характеристик нанесли на карту согласно их географическим координатам. Затем рассчитали средние величины параметров, исходя из эмпирической информации по всем массивам данных, относящихся к каждой из ландшафтных экосистем, попавших в рассмотрение на территории выбранных регионов.

В отличие от подхода Н. И. Базилевич (1986), где усреднение проводилось на основе как эмпирических, так и авторских экстраполятивных оценок для конкретных типов экосистем, мы для географического анализа применили метод широтно-долготных профилей. Этот метод позволяет непосредственно включить в анализ в качестве численных параметров изменения широты и долготы местности, а кроме того, дает возможность снизить субъективность оценок при аналогизации и гомологизации разных типов экосистем, принадлежащих к географически отдаленным регионам.

С этой целью были проведены пять наиболее представительных долготных профилей через Кольский п-ов и север Восточно-Европейской равнины (по 36° в. д.), п-ов Ямал и север Западно-Сибирской низменности (по 72° в. д.), п-ов Таймыр и Средне-Сибирское плоскогорье (по 102° в. д.), Якутию (по 126° в. д.) и Чукотско-Анадырский регион (по 174° в. д.) от 60° с. ш. до береговой линии; а также четыре широтных профиля (по 60, 62, 64 и 69° с. ш.), пересекающих по крайней мере четыре из выбранных долгот. Выбор широт был основан на графическом анализе изменчивости биологических показателей по всем долготным профилям. Усредненные значения выбранных характеристик экосистем, попавших в точки пересечения отмеченных меридианов и широт, были статистически проанализированы и представлены графически (рис. 1 и 2). Иллюстрации сплошных профилей не приведены.

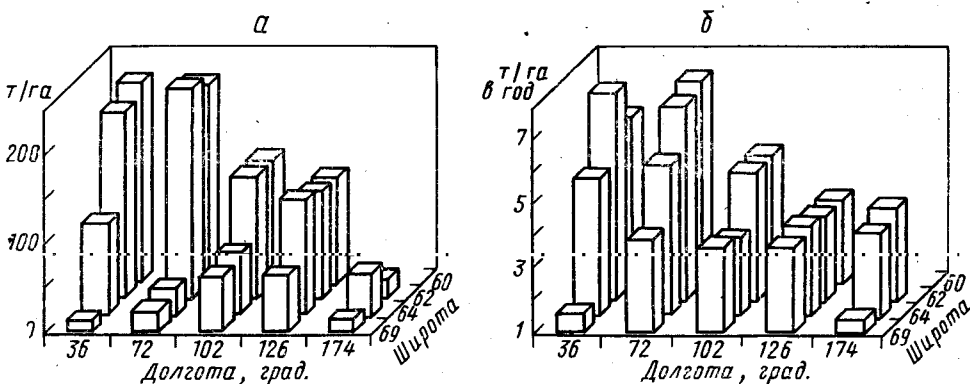


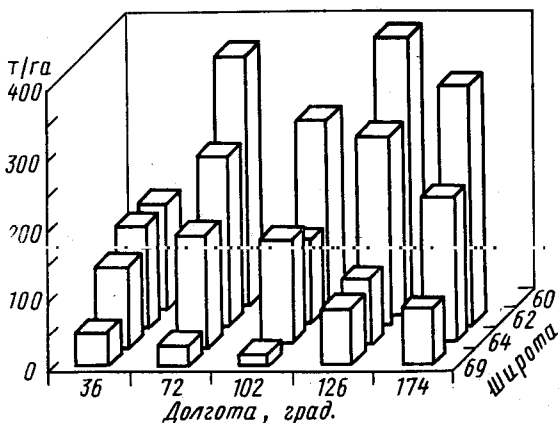
Рис. 1. Широтное и меридиональное распределение запасов фитомассы (а) и первичной продукции (б) ландшафтных экосистем севера России

**Результаты и обсуждение.** Рис. 1, а показывает характер географической изменчивости общей фитомассы наземных экосистем по выбранной широтно-долготной сетке. В исследованных точках показатели фитомассы варьировали от 10,54 (69° с. ш., 36° в. д.; условно: «Кольский п-ов», европейская южная тундра) до 222,33 т/га. (60° с. ш., 36° в. д.; «Кольский п-ов», восточно-европейская южная тайга).

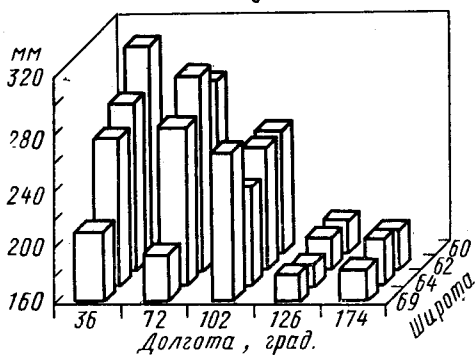
Отмечается закономерное уменьшение фитомассы с увеличением широты с юга на север ( $r = -0,703$ ,  $p = 0,0008$ ). Для 36° в. д. («Коль-

ский п-ов») и 72° в. д. (Ямал) этот тренд значителен, для 102° в. д. (условно: «Таймыр») и 126° в. д. (условно: «Якутия») выражен меньше.

а



б



в

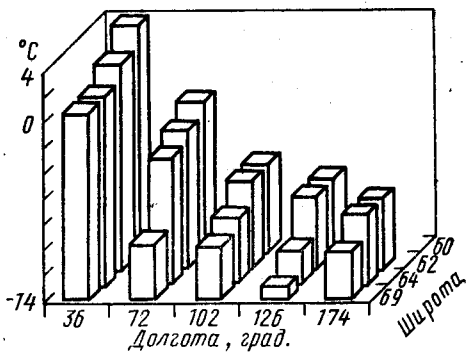


Рис. 2. Широтное и меридиональное распределение суммарного органического вещества почвы (а), суммарных осадков за июнь—сентябрь (б) и среднегодовой температуры воздуха (в) ландшафтных экосистем севера России

Для 60 и 62° с. ш. отмечено долготное снижение запасов фитомассы от 36 к 176° в. д. в направлении с запада на восток. Не совсем так наблюдается тренд для 64° с. ш. (от 72 к 176° в. д.), а для 69° с. ш. с запада на восток максимум достигается для 102 и 126° в. д. («Якутия» и «Таймыр»). Общий тренд с ростом долготы незначим ( $r = -0,442$ ;  $p = 0,058$ ).

Первичная продукция (рис. 1, б) изменяется от 1,41 (69° с. ш., 174° в. д.; условно: «Чукотка», горная тундра) до 7,39 т/га в год (62° с. ш., 36° в. д.; «Кольский п-ов», восточно-европейская средняя тайга). Изменения первичной продукции очень близки к аналогичным по фитомассе, однако связь с широтой здесь выражена слабее ( $r = -0,633$ ,  $p = 0,0036$ ; с долготой —  $r = 0,533$ ,  $p = 0,0187$ ). Связь между этими двумя переменными наиболее высока и значима среди рассмотренных ( $r = 0,81$ ,  $p = 0,00001$ ).

Для бореального пояса (южнее 69° с. ш.) тенденция снижения запасов фитомассы и продукции от европейской равнины к Западной (в 2—2,5 раза) и далее к Восточной Сибири (в 2 раза) хорошо совпадает с закономерностями, выявленными Н. И. Базилевич (1986, 1992, 1993).

Суммарное содержание органики в почве варьирует от 19,22 (69° с. ш., 102° в. д.; «Таймыр», северная тундра) до 387,72 т/га (60° с. ш., 126° в. д.; «Якутия», средняя тайга). Отмечается увеличение запасов к низким широтам, причем если для «Кольского п-ва» это увеличение идет закономерно, то для других скачкообразно. Для 60 и 62° с. ш. наблюдается возрастание запасов от 36 к 174° в. д., с некоторым падением в районе «Таймыра», для 64 и 69° с. ш. эта тенденция сохраняется лишь относительно (рис. 2, а). Общая тенденция выражается в высокой степени этой обратной связи ( $r = -0,79$ ,  $p = 0,0001$ ).

О. М. Бирюкова и Д. С. Орлов (1993) приводят оценки запасов гумуса тундровой зоны до 145 (слой 0—50 см), болот — до 1650 т/га (слой 0—100 см). Полученные нами результаты несколько ниже, но хорошо совпадают с расчетными данными А. А. Титляновой (1990) — от 65 в северной тайге до 350 т/га в южной.

Резюмируя, следует отметить, что первичная продукция как динамическая характеристика экосистем оказывается наиболее устойчивой к совокупным географическим особенностям среди всех трех переменных (в данном случае коэффициент корреляции по широте наименьший), а запасы гумуса, напротив, демонстрируют наиболее сильную связь.

Рис. 2, б, в показывает характер изменения климатических параметров по координатной сетке. Наиболее существенны коэффициенты корреляции выборок данных «осадки — географическая долгота» ( $r = -0,715$ ,  $p = 0,0001$ ) и «температура — географическая долгота» ( $r = -0,812$ ,  $p = 0,0001$ ).

Выявленные тренды по фитомассе (рис. 1, а) связаны с трендами количества летних осадков и среднемноголетней температуры (рис. 2, б, в;  $r = 0,64$ ,  $p = 0,0033$ ,  $r = 0,503$ ,  $p = 0,028$  соответственно). Однако эта связь может быть комплексной природы. Так, европейская южная тундра отличается незначительным запасом фитомассы при достаточно высоких значениях температуры и летних осадков. Такое отличие в трендах по фитомассе и климатическим характеристикам заметно по 126° в. д. («Якутия»).

Отмечается относительно высокая связь для совокупностей данных «продукция — осадки» ( $r = 0,78$ ,  $p = 0,0001$ ), но для пары «продукция — температура» коэффициент корреляции существенно ниже ( $r = 0,56$ ,  $p = 0,0133$ ).

Существуют некоторые отклонения в трендах климатических характеристик, первичной продукции и запасов почвенного органического вещества. Для 36, 72 и 102° в. д. общая динамика запасов почвенной органики повторяет таковую первичной продукции, для мерзлотных же почв Якутии и «Чукотки» сходства не наблюдается. Особенно разница заметна для дальневосточной лесотундры (60° с. ш., 174° в. д.; «Чукотка»), где большие запасы подстилки кедрового стланика дают высокие значения почвенного органического вещества. В общем, можно отметить, что существует достаточно высокая степень зависимости между этими запасами и географической широтой ( $r = -0,79$ ,  $p = 0,0004$ ).

От подзолистых почв европейской части (64 и 62° с. ш.) по направлению к таежномерзлотным почвам Восточной Сибири увеличение запасов почвенного органического вещества может быть связано с мерзлотностью почв. Резкое увеличение начиная с 64° с. ш. при движении с севера на юг совпадает с зоной подзолисто-болотных и болотных почв, где размер накопления может достигать метровых запасов в виде торфа.

Регрессионный анализ позволил получить следующие множественные линейные модели для запасов фитомассы ( $B$ ), почвенной органики ( $H$ ) и первичной продукции ( $P$ ):

$$B = 35,811 P - 0,886 L_1$$

$$P = 0,0125 B + 0,0138 P_1$$

$$H = 27,142 P + 12,92 T + 2,363 L_2 - 7,287 L_1$$

$$F = 66,32, \quad (1)$$
$$R = 0,886, \quad p < 0,0001,$$

$$F = 293,4, \quad (2)$$
$$R = 0,972, \quad p < 0,0001,$$

$$F = 28,17, \quad (3)$$
$$R = 0,883, \quad p < 0,0001,$$

где  $B$  — общий запас фитомассы, т/га,  $P$  — первичная продукция, т/га/год,  $H$  — запас почвенного органического вещества, т/га,  $L_1$  — географическая широта, градусы,  $L_2$  — географическая долгота, градусы,  $P_1$  — осадки, среднемноголетняя сумма, мм за 4 мес,  $T$  — среднемноголетняя температура, °С. Наиболее адекватный результат в этом типе модели получен для переменной «первичная продукция».

Как видим, запасы фитомассы и продукция аппроксимируются наилучшим образом один через другой, а также через широту и летние осадки. Для сравнения мы провели статистический анализ обобщающего однопараметрического уравнения (Lieth, 1975) зависимости первичной продукции от среднегодовой температуры, полученной на основе мировых данных для всех типов наземных экосистем. Анализ этой модели на наших исходных данных показывает, что ее остаточная сумма квадратов (42%) и прочие показатели ( $F = 24,6$ ,  $R = 0,577$ ,  $p < 0,0001$ ) существенно хуже, чем по уравнению (2) (2,8%). Запасы почвенной органики достаточно полно аппроксимируются через величину первичной продукции экосистемы, а также среднегодовую температуру и географическое положение.

Большая часть арктических и бореальных наземных экосистем сосредоточена на территории России, поэтому дальнейший сбор и анализ оригинальных материалов по этому региону представляет несомненный интерес для мировых исследований в этой области.

\* \* \*

Работа выполнена в рамках проекта 4.3.3 ГНТП 18 «Глобальные изменения природной среды и климата».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Базилевич Н. И. 1986. Биологическая продуктивность почвенно-растительных формаций СССР//Изв. АН СССР. Сер. геогр. № 2. 49—67.
- Базилевич Н. И. 1992. Компьютерные базы данных по биологической продуктивности экосистем Мира. М.
- Базилевич Н. И. 1993. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.
- Бирюкова О. М., Орлов Д. С. 1993. Запасы органического вещества и типы гумуса в почвах и торфах севера европейской части России//Почвоведение. № 10. 39—51.
- Исаченко А. Г., Шляпникова А. А., Робозерова О. Д., Филипецкая А. З. 1988. Ландшафтная карта СССР. М.
- Титлянова А. А. 1990. Первичная продукция и запасы гумуса в экосистемах//Проблемы почвоведения в Сибири. Новосибирск. С. 47—53.
- Lieth H. 1975. Primary production: Terrestrial ecosystems//Human Ecol. 1. 303—332.

Поступила в редакцию  
12.04.94

# **LONGITUDINAL AND LATITUDINAL PATTERNS OF PHYTOMASS RESERVES, PRIMARY PRODUCTIVITY AND ORGANIC MATTER OF SOIL IN LANDSCAPE ECOSYSTEMS OF THE RUSSIA FROM COLA PENINSULA TO CHUKOTKA**

**O. V. Chestnykh, D. V. Karelin, D. G. Zamolodchikov**

In this study the longitudinal and latitudinal patterns of total phytomass reserves, primary productivity of vegetation communities, organic matter of soil and climate characteristics from south taiga to arctic tundra were examined. The source information was obtained from unique data bases on phytomass and productivity (more than 400 points) and soil characteristics (more than 200 points). The comparison was carried out on the landscape map of scale 1:4 000 000. Data points with known phytomass, primary productivity, total organic matter of soil and climate characteristics were put on the map by it's geographical coordinates. Than, averages values of the parameteres were calculated, using empirical information from all data points, belonging ti each of the landscape types in study. The series of discrete graphs, presenting quantitative fluctuations of the parameters along chosen latitudes and geographical longitudes are proposed.