

УДК 574.42

*Н. П. Косых, Н. П. Миронычева-Токарева, Л. В. Кирпотина*

## ПРОДУКТИВНОСТЬ ОСОКОВЫХ БОЛОТ ГОРНОГО АЛТАЯ

Дана количественная оценка составляющих цикла биологического круговорота. Определены запасы фитомассы, мортмассы и чистой первичной продукции осокового высокогорного болота Горного Алтая в урочище Ештыкёль. Выявлено сильное влияние мерзлоты на биологические процессы горных болот. Запас растительного вещества осоковых болот Горного Алтая близок к запасам тундровых болот. Запас живой фитомассы составляет  $4143 \text{ г/м}^2$ , а чистая первичная продукция –  $1285 \pm 142 \text{ г/м}^2$  в год.

**Ключевые слова:** *горные болота, чистая первичная продукция, запасы фитомассы, мортмасса, цикл углерода.*

Болота являются не только индикаторами процессов изменения климата, но и сами играют в этом процессе большую роль, определяя баланс парниковых газов в атмосфере. Исследование болот в последние годы приобрело особую актуальность, что связано с пониманием громадной роли болот в цикле углерода и, следовательно, в поддержании стабильности биосферы в условиях нарастающего изменения климата [1]. В связи с исследованиями продуктивности субарктических мерзлотных болот особый интерес представляют сравнительные исследования мерзлотных горных болот юга Западной Сибири [2]. Мерзлые болота имеют достаточно широкое распространение в Горном Алтае. Они приурочены чаще всего к крупным межгорным котловинам. Наибольшие площади мерзлых болот обнаруживаются в Тюгурюкской котловине, есть они в Чуйской степи (точнее – Кокоринская степь, болото Ару), урочищах Ештыкёль и Ештыколь (Северо-Чуйский хребет) и др. Нередки мерзлые болота и на плоских горных вершинах и седло-

винах, например: крупный болотный массив у г. Саганы на северных отрогах хребта Иолго в Северном Алтае [3, 4]. Мерзлые болота Горного Алтая обычно расположены в верхней части лесного пояса или в высокогорьях.

В 2009 г. с целью детального изучения изменений, происходящих в озерно-болотных системах, проведено комплексное исследование района, расположенного в Горном Алтае, на северо-востоке от хребта Биш-Иирду, у подножья в заболоченной местности урочища Ештыкёль вблизи р. Чуя, пересекающей Курайскую межгорную котловину с юго-востока на северо-запад. На юге Курайская котловина обрамлена Северо-Чуйским хребтом, а на севере – Курайским. В межгорной котловине в восточной части урочища Ештыкёль располагается оз. Джангыскёль глубиной 2–2.5 м, окруженное низинным осоково-зеленомошным мерзлым болотом. Озеро имеет ледниково-подпрудное происхождение. Оно было образовано ледником, который выходил из долины р. Курумду и зап-



Рис. 1. Межгорное мерзлотное болото вокруг озера Джангыскёль (фото Н. П. Косых)

руживал сток рек от ледников западной части северного склона Северо-Чуйского хребта. В результате образовалось озеро, которое занимало котловину урочища Ештыкёль. Остатками этого озера и являются оз. Джангыскёль и Караколь на западе котловины [5]. Озеро Джангыскёль окружено комплексом мерзлых бугров (рис. 1), высота которых составляет 3–6 м. Джангыскёль имеет небольшой исток на западе, с помощью которого оно сообщается с р. Куркурек через комплекс мерзлых бугров [6]. Болото урочища располагается на высоте 1750 м над ур. м. (50° 11' с. ш., 87° 44' в. д.).

В растительном покрове доминируют осоки высотой до 30 см и зеленые мхи, которые тяготеют к повышенным участкам рельефа. Доминируют в составе травяно-кустарничкового яруса осоки *Carex rostrata*, чуть меньше – кочкообразующая *Carex juncella*, встречается *Carex dioica* и *Carex canescens*. Из разнотравья встречается сабельник *Comarum palustre*, который дает небольшой вклад в покров. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса сообщества составляет около 70 %. Моховой ярус представлен *Aulacomnium palustre*, покрывающий до 80 % поверхности. Из зеленых мхов встречается *Drepanocladus aduncus*, *Calliergon richardsonii* и др.

Для определения биологической продуктивности горного болота Ештыкёль отбор проб произведен в наиболее типичных его участках с учетом характера микрорельефа. На выделенных площадках послойно отбирали пробы растительного вещества до глубины 30 см. Методы и методики подробно описаны в статье [7]. Чистая первичная продукция (NPP) складывалась из продукции надземной фитомассы трав, кустарничков и мхов (ANP) и продукции подземных органов (BNP). Надземная продукция трав определяется фракцией фотосинтезирующей фитомассы. Продукцию зеленых мхов определяли по методике годового прироста [8]. Продукцию подземной части осок, пушиц, трав и кустарничков определяли по приросту текущего года корней, корневищ и узлов кущения.

Рассмотренные нами параметры биологических процессов позволяют дать количественную оценку функционирования болотных экосистем высокогорий. Одним из основных показателей биологических процессов экосистем является их продуктивность, которая определяется запасами фитомассы (F), мортмассы (M) и продукции (NPP). Биологическая продуктивность горных болотных систем лишь едва затронута изучением, а продуктивность осоковых горных мерзлотных болот вообще не освещена в литературе [9]. Исследования запасов фитомассы, ее структуры и продуктивности растительного покрова гор были направлены больше на горные тундры [10, 11]; хорошо исследованы высокогорные высотравные луга [12–15]; горным осоковым болотам уделялось мало внимания, причем часто учитывали только общие запасы и продукцию надземной фитомассы [16, 17].

Единичные исследования были проведены в осоковых болотах юго-запада гор Путорана [18]. Хорошо изучена биологическая продуктивность осоковых болот на равнинной территории Западной Сибири от лесотундры [19, 20] до лесостепи [21].

Общие запасы растительного вещества осокового болота Ештыкёль составляют  $18\,258 \pm 4\,000$  г/м<sup>2</sup> и близки по запасам к кустарничково-зеленомошно-лишайниковому сообществу лесотундры на сухой и холодной вершине водоразделов Западной Сибири и гор Хибин (рис. 2, а). Минимальные запасы растительного вещества отмечены для осоковых болот Тянь-Шаня и составляют 4 200 г/м<sup>2</sup> [17].

Мертвое растительное вещество или мортмасса (M) составляет 77 % общего запаса растительного вещества. Преобладание мортмассы над живым растительным веществом отмечается для всех болотных экосистем. Выполненная работа показывает, что особенностью биологического круговорота в болотных экосистемах является продолжительное задержание поглощенных химических элементов в растительном веществе. По этой причине общая масса растительного вещества в деятельном слое в болотных фитоценозах в 6–14 раз больше массы прироста. Замедленность движения масс элементов в системе биологического круговорота в болотных экосистемах усиливается тем, что основная часть биомассы (около 80–90%) находится в торфе, и отмирающие части сфагновых мхов задерживаются в толще, образуя обильную сфагновую подстилку. Исключение составляет осоковое болото Тянь-Шаня, в нем живое растительное вещество превалирует. Преобладание мортмассы в 2–3 раза над живой частью растительности говорит о замедленном разложении растительных остатков в осоковых растительных сообществах в горах (рис. 2, а). Вклад надземной мортмассы в общий ее запас составляет всего 5–10 % и в основном образуется из ветоши и подстилки сосудистых растений (таблица). Причем запас ветоши осок и пушиц преобладает над запасом подстилки из-за быстрого ее разложения и минерализации.

К факторам, влияющим на величину накопления мортмассы, можно отнести низкие температуры и близость мерзлоты, которая регистрируется на глубине 40 см. При сравнении запасов мортмассы болота Ештыкёль с болотами лесотундры и лесостепи можно сказать, что он в три раза выше, чем в районе осоковых болот лесостепной зоны и приближается к запасам лесотундры (рис. 2, а).

Живое растительное вещество, или фитомасса (F), в исследуемой экосистеме составляет  $4143 \pm 656$  г/м<sup>2</sup>. Минимальные запасы живого растительного вещества в осоковых болотах (1680 г/м<sup>2</sup>) отмечаются для низинных болот лесостепи [21] и значительно возрастают в эвтрофных низинных болотах высокогорий, несмотря на близость мерзлоты. Большая часть фитомассы (88 %) создается подземными органами

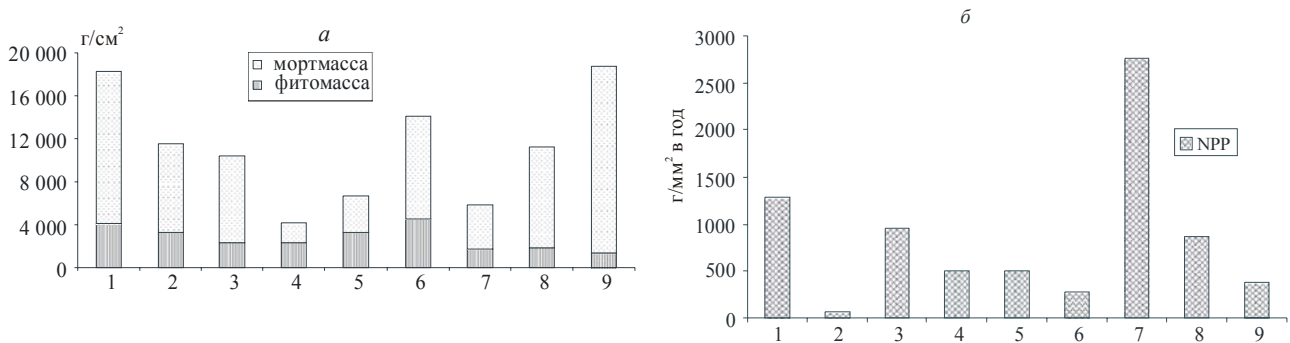


Рис. 2. Изменение растительного вещества (а) и чистой первичной продукции (б) в болотных экосистемах.

1 – горное осоково-зеленомошное болото Ештыкёль, Горный Алтай; 2 – горное осоковое болото, Путоран (по: Деева, 1985); 3 – осоковое болото, Воркута (по: Вильчек, 1986); 4 – горное осоковое болото, Тянь-Шань (по: Злотин, 1971); 5 – горная тундра, Кольский п-ов (по: Манаков, 1972); 6 – горная тундра, Хибины (по: Чепурко, 1971); 7 – светлухово-осоковое болото, лесостепь Западной Сибири (по: Вагина, Шатохина, 1976); 8 – осоковое болото (хасырей) и 9 – бугры плоскобугристого болота, лесотундра Западной Сибири (по: Косых, Миронычева-Токарева, Паршина, 2008)

Биологическая продуктивность ключевого участка

Фракция растительного вещества	Растительное вещество, г/м²
Зеленая фитомасса:	
осок	55
трав	6
кустарничков	5
мхов	349
Однолетние побеги	1
Многолетние части кустарничков	12
Подземные органы трав в слое, см	
0–10	291
10–20	1393
20–30	1962
Подземные органы кустарничков в слое 0–30 см:	69
из них погребенные стволы	20
Всего живой фитомассы (F)	4143
Ветошь надземная	143
Подстилка надземная	7
Мортмасса (M), всего	14 115
Всего растительного вещества	18 258
Продукция (NPP), г/м² в год	
ANP трав	61
ANP кустарничков	6
ANP мхов	150
BNP трав	1030
BNP кустарничков	39
NPP	1286

осок, значительная часть которых представлена узлами кушения и корневищами. Запасы зеленых мхов, которые составляют лишь 8 % общих запасов фитомассы. Фотосинтезирующая часть трав составляет

всего 5 %. По запасам живой фитомассы осоковые болота относятся к очень высокой категории запаса. Надземная часть фитомассы болота Ештыкёль составляет 430 г/м², подземная – 3 700 г/м², по структуре и запасам приближая их к группе высокогорных влажных лугов, запасы которых составляют для Восточного Саяна 1060.3 г/м² [12], для высокогорных альпийских ценозов Карпат надземная часть равна 200–350 г/м², подземная – 1000–1500 г/м² [13], для лугов Большого Кавказа надземная – 200 г/м², подземная – 2 910 г/м² [14], и для субальпийских лугов Малого Кавказа запасы надземной части фитомассы 200–500 г/м², подземной – 2 500–3387 г/м² [15].

Запасы зеленой фитомассы трав и кустарничков составляют 66±20 г/м² и в основном формируются осоками (таблица). Запасы фитомассы многолетних частей кустарничков незначительны. Годичные побеги могут достигать 12 % фитомассы многолетних частей кустарничков и составляют около 1 г/м². Запасы зеленой фитомассы мхов изменяются в пространстве. Наибольшие запасы наблюдаются на повышенных элементах рельефа на небольших кочках-клубках и составляют около 900 г/м². В понижениях наблюдаются минимальные запасы – 52 г/м². В среднем запасы зеленых мхов довольно высоки, так же как и их абсолютные значения. Но при этом доля их в общих запасах живой фитомассы довольно низкая и не превышает 10 %.

Чистая первичная продукция (NPP) осокового болота составляет 1285±142 г/м² в год при запасах живой фитомассы 4143 г/м² и определяется составом растительного сообщества (рис. 2, б). Продукция достигает максимальной величины из-за дополнительного притока питательных веществ со склонов гор. Продукция подземной фитомассы составляет 80 % общей продукции и создается в основном подземными органами осок. Продукция мхов не превышает 150 г/м² в год и вклад ее составляет 10–12 %. Вклад надземной продукции не превышает 10 % (таблица).

По литературным данным, продукция горных осоковых болот изменяется от 75 до 950 г/м² в год.



В тундровых сообществах гор она не превышает 500 г/м<sup>2</sup> в год. На водоразделе Западной Сибири в осоковых болотах лесостепи продукция может иметь наибольшую величину – 2 800 г/м<sup>2</sup> в год. На болотах лесотундры продукция изменяется от 380 г/м<sup>2</sup> в год до 870 г/м<sup>2</sup> в год. Наибольшей величины она достигает в хасыреях мезотрофных мочажин, минимальной продукции – на мерзлых буграх. Высокую продукцию (NPP) обеспечивает доминирование осок в растительном сообществе эвтрофных болот.

Анализ полученных величин запаса и продукции растительного вещества показывает, что при высокой величине запасов растительного вещества большая доля мортмассы определяется близостью мерзлоты, что сближает болота высокогорий с болотами лесотундры, по величине продукции экосистемы близки к травяным болотам степной зоны. Высокое количество живой фитомассы определяется типом экосистемы, растительным сообществом и трофностью, составляет 4 143 г/м<sup>2</sup> и близко по величине к запасам высокогорных альпийских лугов. Большая величина живой фитомассы обеспечивает большую величину чистой первичной продукции. Эта величина меньше, чем на осоковых болотах лесостепи (2 800 г/м<sup>2</sup> в год), но больше чем на осоковых болотах лесотундры. При дополнительном притоке питательных элементов в горных котловинах их продукция становится особенно высокой. Основной вклад в продукцию дают подземные органы сосудистых растений и мхи. Вклад в величины надземной продукции трав и кустарничков незначителен. Так как в болотных экосистемах происходит замедление разложения и захо-

ронение растительных остатков в толще торфа, то мы наблюдаем многократное количественное преобладание мортмассы над живым растительным веществом даже в верхнем деятельном 30 см слое, в котором и идут основные обменные процессы.

Соотношение полученных количественных характеристик биологической продуктивности, таких как отношение мортмассы к первичной продукции, отражающее скорость круговорота мортмассы, показывает, что средняя скорость круговорота мортмассы в экосистеме высокогорных осоковых болот составляет около 11 лет. Такая же величина оборота мортмассы отмечается и для хасыреев лесотундры, на мерзлых буграх лесотундры круговорот замедляется до 45 лет. Таким образом, несмотря на высокие запасы мортмассы, которые близки к величинам в лесотундре, значительная величина продукции приводит к ускорению круговорота мортмассы.

Таким образом, предварительное изучение продукционно-деструкционных процессов выявило более высокие величины продукции высокогорной болотной системы, близкие к травяным болотам степной зоны, приводящие к ускорению круговорота мортмассы по сравнению с лесотундровыми условиями равнины. Болотный комплекс урочища Ештыкёль является уникальным компактным природным полигоном, удобным для организации многолетнего мониторинга продукционно-деструкционных процессов в контексте климатических изменений.

*Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 08-05-92496-НЦНИЛ\_а, 08-05-92501-НЦНИЛ\_а.*

## Список литературы

1. Кирпотин С. Н. Западная Сибирь – уникальный болотный регион и ее роль в регулировании глобального климата // Актуальные проблемы экологии и природопользования Сибири в глобальном контексте: сб. ст. / под. ред. С. Н. Кирпотина. Томск: Изд-во НТЛ, 2006. С. 22–42.
2. Kosykh N. P., Koronotova N. G., Naumova N. B., Titlyanova A. A. Above- and below-ground phytomass and net primary production in boreal mire ecosystems // Wetlands ecology and management. 2008. № 16. P. 139–153.
3. Волкова И. И. Возможности и перспективы использования горных болот как объектов индикации климатических изменений // Актуальные проблемы экологии и природопользования Сибири в глобальном контексте: сб. ст. Томск, Изд-во ТПУ, 2007. С. 69–72.
4. Volkova I. et al. Mountain mires of South Siberia: biological diversity and environmental functions // International Journal of Environmental Studies. 2009. Vol. 66. Issue 4. P. 465–472.
5. Бородавко П. С. Изменения климата и динамика рельефа криолитозоны Горного Алтая // Вопросы географии Сибири. 2009. Вып. 27. С. 142–147.
6. Blyakharchuk T. A., Wright H. E., Borodavko P. S. et al. The role of pingos in the development of the Dzhangyskol lake-pingo complex, central Altai Mountains, Southern Siberia // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2008. № 257. P. 404–420.
7. Косых Н. П. и др. Продуктивность болот южной тайги Западной Сибири // Вестн. ТГУ. 2003. № 7. С. 142–152.
8. Корчагин А. А. Строение растительных сообществ // Полевая геоботаника. Т. 5. Л.: Наука, 1976. 313 с.
9. Базилевич Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 295 с.
10. Манаков К. Н. Продуктивность и биологический круговорот в тундровых биогеоценозах Кольского полуострова. Л.: Наука, 1972. 147 с.
11. Чепурко Н. Л. Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в лесных и тундровых сообществах Хибинских гор // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л.: Наука, 1971. С. 213–220.
12. Куминова А. В., Зверева Г. А. Продуктивность естественных травяных растительности в фитоценозах в Восточном Саяне // Там же. С. 65–70.
13. Малиновский К. А. Биологическая продуктивность некоторых высокогорных ценозов Карпат // Там же. С. 135–140.
14. Маилов А. И. Сезонная динамика фитомассы и опада послелесных лугов Большого Кавказа в Азербайджанской ССР // Там же. С. 136–140.

15. Джафаров Б. А., Джафарова Т. С. О запасах фитомассы альпийских и субальпийских лугов Малого Кавказа // Там же. С. 140–145.
16. Андряшкина Н. И., Горчаковский П. Л. Продуктивность кустарничковых и травяных сообществ лесотундры: методика ее оценки // Экология. 1972. № 3. С. 5–12.
17. Злотин Р. И. Изучение продуктивности и закономерности распределения фитомассы в растительном покрове сыртов Тянь-Шаня // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л.: Наука, 1971. С. 145–150.
18. Деева Н. М. Запас и структура горных тундр северо-запада Путорана // Биологические проблемы севера (IX симпозиум, ч. 1). Сыктывкар, 1981. С. 90–91.
19. Вильчек Г. Е. Продуктивность некоторых фитоценозов Воркутинских тундр // Экология. 1986. № 2. С. 8–13.
20. Косых Н. П. и др. Биологическая продуктивность болот лесотундры Западной Сибири // Вестн. ТГПУ. 2008. Вып. 4 (78). С. 53–57.
21. Вагина Т. А., Шатохина Н. Г. Фитоценоотические и биогеоценоотические процессы // Структура, функционирование и эволюция биогеоценозов Барабы. Т. 2. Новосибирск, 1976. С. 265–300.

Косых Н. П., кандидат биологических наук, научный сотрудник.

**Институт почвоведения и агрохимии СО РАН.**

Ул. Советская, 18, г. Новосибирск, Новосибирская область, Россия, 630099.

E-mail: kosykh@issa.nsc.ru

Миронычева-Токарева Н. П., кандидат биологических наук, ст. научный сотрудник, зав. лабораторией БГЦ.

**Институт почвоведения и агрохимии СО РАН.**

Ул. Советская, 18, г. Новосибирск, Новосибирская область, Россия, 630099.

Кирпотина Л. В., мл. научный сотрудник.

**Томский государственный университет.**

Ул. Ленина, 36, г. Томск, Томская область, Россия, 634050.

*Материал поступил в редакцию 10.02.2010*

*N. P. Kosykh, N. P. Mironycheva-Tokareva, L. V. Kirpotina*

#### **PRODUCTIVITY OF FEN IN GORNO-ALTAI**

A quantitative estimation of components of biological cycle is given. Identified reserves of phytomasse mortmass and net primary production of mountain fen Gorno-Altai in the Eshtykel. Revealed the strong influence of permafrost on biological processes mountain fen. Stock vegetable substances either fen Altai close to stocks Tundra bogs. Reserve live phytomass is 4143 g/m<sup>2</sup>, and net primary production – 1285±142 g/m<sup>2</sup> per year.

**Key words:** *mountain fen, net primary production, stocks of phytomass, mortmass, carbon cycle.*

Kosykh N. P.

**Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS.**

Ul. Sovetskaya, 18, Novosibirsk, Novosibirskaya oblast, Russia, 630099.

E-mail: kosykh@issa.nsc.ru

Mironycheva-Tokareva N. P.

**Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS.**

Ul. Sovetskaya, 18, Novosibirsk, Novosibirskaya oblast, Russia, 630099.

Kirpotina L. V.

**Tomsk State University.**

Ul. Lenina, 36, Tomsk, Tomskaya oblast, Russia, 634050.