

## СТАТЬИ

УДК 57:911.2(571.51)

**ЧИСТАЯ ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА  
ФАЦИЙ БЕРЕЗОВСКОГО УЧАСТКА НАЗАРОВСКОЙ КОТЛОВИНЫ****Дубынина С.С.***Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: Dubynina@irigs.irk.ru*

В статье на основе многолетних наблюдений уделено особое внимание чистой первичной продукции растительного вещества фаций Березовского участка Шарыповского района Назаровской котловины Красноярского края. Назаровская котловина расположена на стыке трех крупных регионов Сибири. Западно-Сибирской равнины, Среднесибирского плоскогорья и гор Южной Сибири. Участок исследования – Березовский обусловлен особенностями ландшафтной структуры южной части котловины. Луговые сообщества котловины представляют основное хранилище растительного покрова, так как в луговой тип входят лесные и пойменные луга. Близкие к коренному состоянию сохранились участки луговых степей. Болота на данной территории представлены травяными типами (осоковые, лабазниково-осоковые), располагающиеся в поймах рек и озер и складывающиеся за счет поверхностного стока весенне-осенне-зимних атмосферных осадков. Для достижения поставленной цели проведен сбор и анализ данных материалов о чистой первичной продукции растительного вещества. Ритм продуцирования надземной и подземной массы имеет во всех типах геосистем свои особенности. Выявлены закономерности природных режимов, характеризующих сезонную динамику продукции надземной и подземной массы, обусловленную метеорологическими показателями (тепла и влаги). Отмечено, что во всех фациях геосистем продукция растительного вещества накапливается в течение теплого периода года. Для надземной части прирост происходит в основном в первую половину лета, а в подземной наблюдается 2 пика прироста – весенний и позднелетний. В результате исследования наиболее продуктивными фациями данного региона оказались луговые степи, настоящие луга и травяные болота. Далее следуют пойменные и лесные луга и самой минимальной величиной продукции надземной массы характеризуются лесные фации под пологом леса.

**Ключевые слова:** Назаровская котловина, Березовский участок, геосистема, микроклимат, фации, чистая первичная продукция, растительное вещество

**NET PRIMARY PRODUCTION OF PLANT MATTER FACIES  
OF THE BEREZOVSKY SECTION OF THE NAZAROVSKAYA BASIN****Dubynina S.S.***Institute of Geography named after V.B. Sochava SB RAS, Irkutsk, e-mail: Dubynina@irigs.irk.ru*

In the article on the basis of long-term observations, special attention is paid to the net primary production of plant matter facies of the Berezovsky section of the sharypovsky district of the Nazarovskaya basin of the Krasnoyarsk territory. The Nazarovskaya basin is located at the junction of three major regions of Siberia. West Siberian plain. Central Siberian plateau and mountains of southern Siberia. The site of the study-Berezovsky, due to the features of the landscape structure of the southern part of the basin. Meadow communities of the basin represent the main storage of vegetation, as the meadow type includes forest and floodplain meadows. Areas of meadow steppes on the southern slopes of the ridges remained close to the indigenous state. Marshes in this area are represented by grass types (sedge, labaznikovo-sedge), located in the floodplains of rivers and lakes and formed by surface runoff spring-autumn-winter precipitation. To achieve this goal, data collection and analysis of materials on the net primary production of plant matter was carried out. The rhythm of production of above-ground and underground mass has its own peculiarities in all types of geosystems. The regularities of natural regimes characterizing the seasonal dynamics of production of above-ground and underground mass due to meteorological indicators (heat and moisture) are revealed. It is noted that in all facies of geosystems the production of plant matter accumulates during the warm period of the year. For the aboveground part, the growth occurs mainly in the first half of summer, and in the underground there are 2 peaks of growth-spring and late summer. As a result of the study, the most productive facies of the region were meadow steppes, real meadows and grasslands. This is followed by floodplain and forest meadows and the lowest value of the above-ground mass production is characterized by forest facies under the forest canopy.

**Keywords:** Nazarovskaya basin, Sharypovskiy district, landscape, climate, facies, net primary production, plant nutrient

Чистая первичная продукция растительного вещества – основной показатель функционирования геосистем. Во всех фациях продукция растительного вещества накапливается в течение теплого периода года. Ежегодно растительное вещество продуцируется в геосистемах, как в надземной, так и в подземной части, причем в надземной части лишь 1/4 этой величины. В лесостепных

районах первичная продукция растительного вещества в целом меняется слабее, чем его запасы. Поэтому следует отметить, что в изучаемых фациях запасы фитомассы и ее структура в многолетнем цикле все-таки стабильнее, чем продукция вещества [1].

Цель исследования: изучение образования чистой первичной продукции растительного вещества в фациях Березовского

участка Шарыповского района. Значимость работы обусловлена влиянием климата и экологическими условиями, которые отражаются на видовом составе и продукционном процессе растительного вещества исследуемой территории. Поэтому при получении чистой первичной продукции имеет большое значение, раскрытие сущности продукционных процессов, связанных с созданием и трансформацией растительного вещества в исследуемых фациях лесостепной зоны Назаровской котловины.

#### Материалы и методы исследования

Стационарные наблюдения за продукционным процессом растительных сообществ осуществлялись с 1986 по 1997 г. на фациях Березовского участка Шарыповского района Назаровской котловины. Зеленые растения являются создателями органического вещества (чистой первичной продукцией), т.е. они являются первым звеном продукционного процесса, значит, они приобретают в фациях геосистем важнейшее значение. Вторым звеном продукционного процесса является отмирание растений и разложение растительных остатков, т.е. трансформация растительного органического вещества как результат этих процессов.

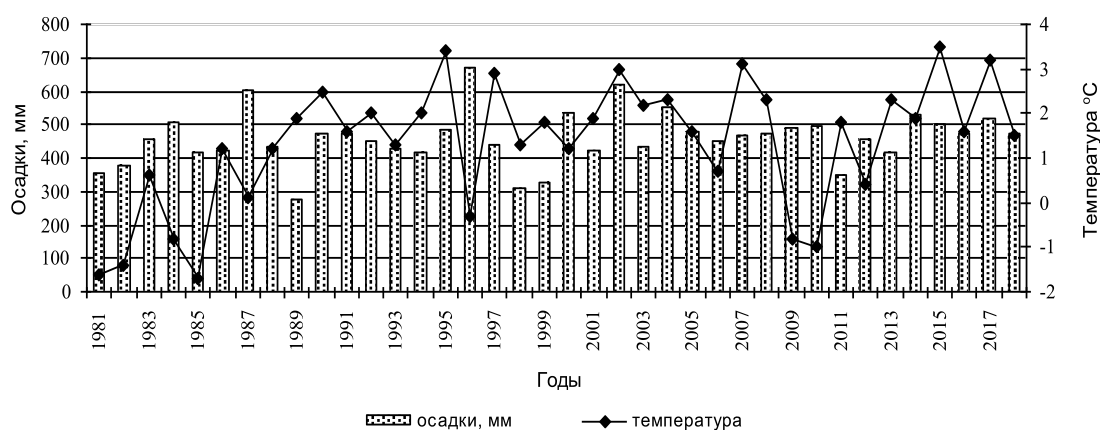
Назаровский природный округ принадлежит к лесостепному поясу со слабоувалисто-равнинной поверхностью. Значительную часть площади занимают лесные и настоящие луга, луговые степи и болотная растительность в поймах рек и озер. В травостое луговой степи большое участие принимают степные злаки: тимофеевка степная (*Phleum phleoides* L.), мятлик узколистный (*Poa angustifolia* L.), мятлик луговой (*P. pratensis* L.), мятлик обыкновенный (*P. trivialis* L.) – которые могут существовать при увлажнении почвы выпавшими осадками. В травостое большое участие принимают представители разнотравья: тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), кровохлебка лекарственная (*Sanguisorba officinalis* L.), полынь широколистная (*Artemisia latifolia* L. edeb), подмаренник настоящий (*Galium verum* L.). Основу травостоя пойменных лугов составляют злаки: овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), пырей ползучий (*Elytrigia repens* L., Nevski) и осоки (*Carex* L). Болота представлены видами: осок (*Carex* L), лабазника вязолистного или белоголовника (*Filipendula ulmaria* L., Maxim) и чемерицы Лобеля (*Veratrum labelianum* Bernh.) [2]. Многими авторами отмечалось, что при изучении растительного покрова лугового произрастания лесостепной зоны Южного Урала и луговой растительности

лесостепной зоны Новосибирской области, так же базируется на трех основных типах ритмики образования растительного покрова: степного, лугового и болотного. Подобное формирование видов растительного покрова характеризуется широким эколого-фитоценозным разнообразием и богатым флористическим составом, который сравним с видовой насыщенностью лесостепной зоны Назаровской котловины [3, 4]. При изучении растительного покрова осоковых болот горного Алтая, где дается подобная характеристика состава видов болотной растительности фитоценозов и количественная оценка составляющего цикла биологического круговорота, определены запасы фитомассы и чистой первичной продукции осокового болота в урочище Ештыкель Горного Алтая. Чистая первичная продукция растительного вещества осоковых болот Горного Алтая близка по первичной продукции фитомассы Березовского болотного участка [5].

Климат Шарыповского района проявляется в резких колебаниях суточных и сезонных температур и атмосферных осадков в течение года (рисунок). Вегетационный период начинается в первой половине апреля, когда наступает устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 0°C, а завершается во второй половине октября, когда происходит понижение температуры с обратным ее переходом через 0°C. Продолжительность безморозного периода 100–110 дней. Сумма температур воздуха выше 10°C составляет 1500–1700°C.

Для оценки биологической продуктивности используются показатели общего количества фитомассы и первичной годичной продукции растительного вещества, определяемые общепринятыми методами [6]. Надземная масса учитывалась на площадках 0,25 м<sup>2</sup> методом укосов с разбором на зеленую и отмершую (ветошь, подстилку) часть. Подземную массу отбирали путем почвенных монолитов 10×10 см по слоям 10 см до глубины 20, 30 см. Подземные органы отмывали от почвы на ситах с ячейками 0,25 мм.

В работе используется единая терминология и система обозначения «структуры растительного вещества», которая сейчас широко принята. Зеленая масса (G), ветошь (D), подстилка (L). Ветошь и подстилка образуют мертвую надземную массу (D + L), а вместе с зеленью – надземное растительное вещество (G + D + L). Подземная масса (R + V) состоит из живых (R) и отмерших корней (V). Общий запас растительного вещества – это сумма надземной и подземной массы (G + D + L + R + V).



*Характеристика метеорологических условий для Шарыповского района Красноярского края (по данным метеостанции г. Шарыпово)*

Показатели интенсивности продукционных процессов: надземная продукция (ANP), подземная продукция (BNP),  $NPP = ANP + BNP$  – полная чистая первичная продукция – количество вещества, созданного фитоценозом за единицу времени и является важнейшей характеристикой биологического круговорота. Известно, что продукция создаваемая растениями в различные фенологические фазы развития различна. Отмирание зеленой массы ( $\Delta D$ ), минерализация подстилки ( $\Delta M$ ), отмирание подземных органов ( $\Delta V$ ), минерализация подземной мортмассы ( $\Delta W$ ), прирост зеленой фитомассы ( $\Delta G = ANP$ ), прирост подземных органов ( $\Delta B = BNP$ ) рассчитаны с помощью метода минимальной оценки и при этом выявлена интенсивность создания первичной продукции в наиболее типичных фациях лесостепного Березовского ключевого участка. Подобные работы по изучению биологического круговорота, т.е. получения чистой первичной продукции, ведутся на пробных площадях в Курской области, Барабинской низменности, Хакасии, Забайкалье, Туве и Дагестане. Пользуясь единой системой балансовых уравнений, можно отметить, что первичная продукция растительного вещества Барабинской низменности, Хакасии, Тувы близка и сравнима с продукцией фитомассы Березовского ключевого участка [7].

**Результаты исследования и их обсуждение**

Устойчивость величины первичной продукции надземной массы, создаваемая растительным сообществом в каждой фа-

зии различна, так как зависит от метеорологических (тепла и влаги) каждого года. Анализ прироста зеленой массы ( $\Delta G = ANP$ ) до середины июня в различных фациях происходит приблизительно с одинаковой интенсивностью. Период с 15 июня по 15 июля интенсивность прироста резко различается по годам, прирост может как превышать, так и быть ниже прироста предыдущего года. С 15 июля по 15 августа, т.е. с середины июля по середину августа, интенсивность продуцируемых процессов в луговых фациях снижается, а в болотных фациях становится максимальной, здесь формируется свыше 40% годичной продукции. Болотный тип ритмики, имеет два максимума значений ( $\Delta G = ANP$ ), но первый максимум достигается в конце июля. Второй, осенний максимум наступает в августе – сентябре. Прирост в четвертом периоде с 15 августа может быть снова высоким, процент продуцирования в фациях луговой степи колеблется от 33 до 49% надземной продукции ( $\Delta G = ANP$ ). К концу вегетации (сентябрь – октябрь) интенсивность образования продукции в луговых фациях процент продуцирования составляет 16%. В пятом периоде: начиная с 1 октября по ноябрь интенсивность прироста всегда незначительна. Такое изменение интенсивности прироста в течение всего периода вегетации связано с различным временем максимального развития определенных видов в разных фациях, а еще со способностью многих растений лесостепной зоны к образованию в середине – конце лета вторичной вегетации растений не только раннелетнего цикла развития, но и летнего и позднелетнего. Интенсивное

образование продукции вторичной вегетации растений отмечалось в два периода, которые следовали за весенним и осенним кушением трав.

Среднегодовалая продукция зеленой массы ( $\Delta G$ ) минимальна в лесных лугах (ф. 2), прирост зеленой массы ( $\Delta G = ANP$ ) колеблется от 101 до 356 г/м<sup>2</sup> в год, прирост повышается до 429 г/м<sup>2</sup> в год в пойменных лугах. В настоящем лугу и луговой степи прирост зеленой массы ( $\Delta G = ANP$ ) от 641–660 г/м<sup>2</sup> в год и достигает максимума в травяном болоте (ф. 4) – 1025 г/м<sup>2</sup> в год. Соотношение  $ANP_{max} / ANP_{min} = 4,4$  в настоящем лугу, в луговой степи – 3,1, в лесных фациях и на болоте одинаково – в 2,7 раза (табл. 1).

Среднегодовалая продукция живой подземной массы ( $\Delta R$ ) минимальна в лесных лугах (ф. 2) и луговой степи (ф. 3) соответственно 1435–1464 г/м<sup>2</sup> в год. Прирост подземных органов ( $\Delta R = BNP$ ) повышается до 2215 г/м<sup>2</sup> в год в травяном болоте и достигает максимума в настоящем лугу (ф. 6) – 2481 г/м<sup>2</sup> в год. По среднегоду-

ним данным полная чистая продукция (NPP) максимальна в настоящем лугу и травяном болоте (3122–3240), минимальна в лесном лугу – 1791 г/м<sup>2</sup> в год. Изменчивость средней величины по фациям  $\Delta R/\Delta G$  очень велика в лесном лугу 4,0, в настоящем лугу 3,9, а в луговой степи и болоте 2,2 раза. Продукция максимальной корневой массы ( $BNP_{max}$ ) выше ( $BNP_{min}$ ) в 6,3 раза в настоящем лугу и ( $BNP_{max}$ ) выше ( $BNP_{min}$ ) в травяном болоте всего в 1,8 раза. Величина ( $BNP$ ) варьирует по годам сильнее, чем  $ANP$ . В одних и тех же рассматриваемых фациях прирост корней в течение 16 лет менялся от 1,8 до 6,3 раза, тогда как  $ANP_{max}/ANP_{min}$  – от 2,7 до 4,4 раза.

Изменчивость величины чистой продукции зеленой массы относительно общей чистой продукции органического вещества (NPP) по фациям значительна. По среднегодуальным данным продукция зеленой массы ( $ANP$ ) составляет на полях лесного луга – 45%, в болоте – 32, в луговой степи – 31, на настоящих (материковых) лугах – 20, под пологом леса от 6 до 10% (табл. 2).

Таблица 1

Среднегодуальная характеристика продукционного процесса живой надземной и подземной массы Березовского участка (1986–1997 г.)

Показатель	Лесной луг, ф. 2	Луговая степь, ф. 3	Настоящий луг, ф. 6	Болото, ф. 4
Образование чистой первичной продукции, г/м <sup>2</sup> в год				
$\Delta G = ANP$	356	660	641	1025
$\Delta R = BNP$	1435	1464	2481	2215
$ANP + BNP = NPP$	1791	2124	3122	3240
Соотношения чистой первичной продукции				
$\Delta R / \Delta G$	4,0	2,2	3,9	2,2
$ANP_{max} / ANP_{min}$	2,7	3,1	4,4	2,7
$BNP_{max} / BNP_{min}$	2,3	4,2	6,3	1,8

Примечание.  $\Delta G$  – продукция живой зеленой массы;  $\Delta R$  – продукция живой подземной массы;  $ANP$  – чистая продукция зеленой массы;  $BNP$  – чистая продукция корневой массы; в слое почвы 0–20 см;  $ANP + BNP = NPP$  – полная чистая первичная продукция.

Таблица 2

Среднегодуальная характеристика продукционного процесса живой надземной и подземной массы от общей чистой продукции Березовского участка (1981–1997 г.)

Показатель	Лесной луг, ф. 2		Луговая степь, ф. 3		Настоящий луг, ф. 6		Болото, ф. 4	
	г/м <sup>2</sup> год	%	г/м <sup>2</sup> год	%	г/м <sup>2</sup> год	%	г/м <sup>2</sup> год	%
$ANP + BNP = NPP$	1791	100	2124	100	3122	100	3240	100
$\Delta G = ANP$	356	45	660	31	641	21	1025	32
$\Delta R = BNP$	1435	80	1464	68	2481	79	2215	68

Примечание.  $ANP$  – чистая продукция зеленой массы;  $BNP$  – чистая продукция корневой массы; в слое почвы 0–20 см;  $ANP + BNP = NPP$  – полная чистая первичная продукция.

Таблица 3

Интенсивность деструкционных процессов в фациях Березовского участка за вегетационный период с 01.09.1986 по 01.09.1987 г., г/м<sup>2</sup> в год

Интервал времени	Лесной луг, ф. 2						Луговая степь, ф.3					
	$\Delta G$	$\Delta D + L$	$\Delta M$	$\Delta R$	$\Delta V$	$\Delta W$	$\Delta G$	$\Delta D + L$	$\Delta M$	$\Delta R$	$\Delta V$	$\Delta W$
01.09.1986 – 15.06.1987	225	0	0	1461	0	0	280	0	0	1018	0	0
15.06.1987 – 15.07.1987	0	95	0	0	420	29	0	61	122	0	48	660
15.07.1987 – 15.08.1987	76	104	0	0	189	191	77	170	0	0	1120	0
15.08.1987 – 01.09.1987	22	10	0	738	648	648	0	57	0	324	0	14
Интервал времени	Настоящий луг, ф. 6						Болото, ф. 4					
	$\Delta G$	$\Delta D + L$	$\Delta M$	$\Delta R$	$\Delta V$	$\Delta W$	$\Delta G$	$\Delta D + L$	$\Delta M$	$\Delta R$	$\Delta V$	$\Delta W$
01.09.1986 – 15.06.1987	360	0	0	1743	0	0	451	0	0	892	0	0
15.06.1987 – 15.07.1987	9	0	147	1252	0	722	13	60	0	448	1187	0
15.07.1987 – 15.08.1987	53	0	119	0	1832	78	58	60	0	0	470	1230
15.08.1987 – 01.09.1987	0	12	0	1135	0	315	55	173	0	120	0	170

Примечание.  $\Delta D + L$  – продукция надземной мортмассы;  $\Delta M$  – разложение надземной мортмассы;  $\Delta V$  – продукция подземной мортмассы;  $\Delta W$  – разложение подземной мортмассы.

Величина чистой продукции корневой массы (BNP) варьирует по годам сильнее. В целом за сезон может продуцироваться чистой первичной продукцией подземной массы относительно общей продукции органического вещества (NPP), по среднемулетним данным составляет 80% в лесном лугу и настоящем лугу. В луговой степи и травяном болоте процент (BNP) от общей чистой продукции (NPP) значительно меньше, т.е. составляет 68%. Из многолетних исследований в целом за сезон от продукции общего органического вещества (NPP) может продуцироваться подземной массы (BNP) в фациях под пологом леса от 90 до 94%.

Ниже речь пойдет об интенсивности процессов трансформации растительного вещества, где деструкционные процессы зависят от ритмов развития слагающих фации видов, а также погодных условий года (рисунок). На примере влажного 1987 г. рассматривались процессы отмирания растений и разложение растительных остатков. Позднеосенние перезимовавшие зеленые побеги ( $\Delta G$ ), отмирают от 01.09.1986 – 15.06.1987 г. В луговой степи (ф. 3), масса зеленых побегов составляет 280 г/м<sup>2</sup>. В конце июня до середины июля влажного 1987 г. величина ( $\Delta D + L$ ) невелика – 61 г/м<sup>2</sup> и весовое участие в образовании продукции незначительно, за счет минерализации мортмассы ( $\Delta D + L$ ), так как минерализовалось надземной массы ( $\Delta M$ ) в этот период – 122 г/м<sup>2</sup> (табл. 3).

Периоды поступления свежего опада обычно делятся в фациях луговой степи и лесного луга с середины июля до середи-

ны августа. В августе интенсивность отмирания раннелетних видов зеленых побегов увеличивается в связи с тем, что они заканчивают свой жизненный цикл. Этот максимум еще связан с завершением отмирания побегов при наступлении заморозков. Поэтому отмирание надземных побегов и образование ( $\Delta D + L$ ) в луговых и болотных фациях отмечалось в конце вегетационного периода в августе – сентябре. В травяном болоте запасы мортмассы значительны, а минерализация не отмечалась в летний период и только после выпадения осадков в осенний период (август – сентябрь) началась максимальная минерализация мертвых видов раннелетнего цикла развития. Максимальное значение ( $\Delta V$ ) в луговой степи за весь период вегетации отмечалось в июле – августе 1120 г/м<sup>2</sup>. Сразу за нарастанием живых корней ( $\Delta R$ ) в травяном болоте и настоящем лугу происходит отмирание подземных органов. Одновременно в июле – августе происходит разложение подземной мортмассы ( $\Delta W$ ), и в этот период подземная мортмасса достигает наибольших значений в болоте – 1230 г/м<sup>2</sup>. Следовательно, максимальная величина ( $\Delta V$ ) корней на болоте и интенсивное их отмирание протекают в очень сжатые сроки. Минерализация корней продолжается в более поздний срок (август – сентябрь), но уже в меньшем количестве – 170 г/м<sup>2</sup>.

#### Заключение

Полученные результаты показали, что зеленые растения являются создателями органического вещества (чистой первичной продукцией), т.е. они являются первым

звеном продукционного процесса. Величина вторичной продукции, интенсивность образования и минерализация мертвых растительных остатков. Изменение величины годичной продукции зеленой массы относительно общей чистой продукции органического вещества (NPP) возрастает от лесных фаций под пологом леса – 10%, до настоящих (материковых) лугов – 20, к болотным фациям – 32 и к луговой степи – 45%. Продукция корневой массы превышает надземную продукцию в луговых фациях в 4 раза. Образование продукции в травяном болоте характеризуется двумя максимумами – летом, за счет раннелетних видов и поступления в пониженных формах рельефа больших объемов весенних вод, после снеготаяния. Второй, осенний (август – сентябрь) максимум обусловлен вторичной вегетацией раннелетних видов.

#### Список литературы

1. Снытко В.А., Нефедьева Л.Г., Дубынина С.С. Травяные экосистемы Назаровской впадины, Красноярский край // Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особен-

сти. Изд. 2-е, испр. и доп. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. С. 38–46. DOI: 10.31251/978-5-600-02350-5.

2. Дубынина С.С. Продуктивность фитомассы луговых растительных сообществ Назаровской котловины при разных режимах использования // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 102–107.

3. Миронычева-Токарева Н.П. Эволюция растительного покрова лугов Южного Урала. СГГА, Новосибирск: Интерэкспо Гео-Сибирь. 2009. Т. 4. № 2. С. 78–83.

4. Миронычева-Токарева Н.П., Шибарева С.В. Эволюция растительного покрова лугов лесостепной зоны // Почвы в биосфере: сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН / Отв. ред. А.И. Сысо. 2018. С. 329–332.

5. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Кирпотина Л.В. Продуктивность осоковых болот горного Алтая // Вестник Томского государственного университета. 2010. № 3. (93). С. 87–91.

6. Титлянова А.А. Методология и методы изучения продукционно-деструкционных процессов в травяных экосистемах // Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности. Изд. 2-е, исп. и доп. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. С. 6–14. DOI: 10.31251/978-5-600-02350-5.

7. Титлянова А.А., Шибарева С.В. Время оборота фитомассы в травяных экосистемах // Математическое моделирование в экологии: материалы V Национальной конференции с международным участием. 2017. С. 219–222.