

Динамика продуктивности растительности пойменных лугов Монгун-Тайгинского района Республики Тыва по данным Terra Modis

Е. Ю. ЖУКОВА¹, И. Н. БАРСУКОВА^{1, 2}, А. А. ЖУКОВ¹

¹Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова
655017, Абакан, просп. Ленина, 90
E-mail: saphronovairina@mail.ru

²Центральный сибирский ботанический сад СО РАН
630090, Новосибирск, ул. Золотолинская, 101

Статья поступила 21.09.2022

После доработки 29.09.2022

Принята к печати 29.09.2022

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты исследований динамики продуктивности, фотосинтетически активной радиации и эвапотранспирации по данным Terra Modis для пяти тестовых участков в прирусловой части пойм р. Каргы (гликофитные, заболоченные и настоящие луга), а также ивовых зарослей по берегам р. Мугур. Анализ многолетних изменений луговой растительности с 2000 по 2021 г. в районе исследования показал общий положительный тренд валовой продуктивности и различия между сообществами. На фоне роста актуальной эвапотранспирации (на 43 %) идет снижение потенциальной (на 10 %), что свидетельствует об иссушении территории исследования. Сезонные максимумы продуктивности лугов наблюдали в 2014, 2016 и 2020–2021 гг. Критическими для луговой растительности оказались 2001, 2003–2004, 2009 гг. Обнаружена слабая положительная корреляция между валовой продуктивностью растительности и эвапотранспирацией территории и более сильная – с фотосинтетически активной радиацией. Сезонная динамика продуктивности соответствовала луговому типу растительности.

Ключевые слова: продуктивность, эвапотранспирация, Terra MODIS, луга, Монгун-Тайга.

ВВЕДЕНИЕ

Высокогорная растительность лугов является чувствительным индикатором климатических изменений. Даже незначительные колебания климата приводят в горах к быстрым и значительным преобразованиям растительного покрова [Зелепукина и др., 2018].

Анализ основных климатических показателей Республики Тыва, проведенный на основе данных Тувинского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

с 1960 по 2019 г., свидетельствует о резком увеличении континентальности климата региона в связи с его глобальным изменением [Куулар, 2015, 2016].

Так, в Тыве выявлено потепление климата за период с 1961 по 2019 г. Аномалия среднегодовой температуры по пяти метеостанциям (Кызыл, Сосновка, Тоора-Хем, Эрзин и Мугур-Аксы, последняя расположена в районе

исследования) в период 1975–2004 гг. составила $0,9 \pm 0,9$ °C, в период 2005–2019 гг. – $1,6 \pm 0,8$ °C (для Мугур-Аксы температурная аномалия самая низкая – $0,6$ °C). Для метеостанции Мугур-Аксы, самый быстрый прирост температуры по линейному тренду был в период с 1975 по 1990 г. Далее прирост значительно замедлился. В целом, в распределении температуры воздуха выявлен положительный линейный тренд, полиномиальный же тренд показал слабую циклическую составляющую за период [Куулар, 2015, 2016].

Количественная оценка факторов, влияющих на растительность, позволяет оценить как общие закономерности направления аллогенных сукцессий (по модели толерантности) в растительном покрове, вызванных климатическими изменениями, так и спрогнозировать их изменения [Миркин, Наумова, 2017].

Высокогорный массив Монгун-Тайга расположен на стыке широтных зон степей и полупустынь в условиях резко-континентального климата. Он характеризуется значительным ландшафтным своеобразием. Также территория массива входит в кластер биосферного заповедника “Убсунурская котловина”, на базе которого осуществляется мониторинг последствий глобальных изменений климата [Дирксен, Смирнова, 1997; Горный массив Монгул-Тайга, 2012; Ганюшкин и др., 2013а, б; Гаврилкина, 2015; Зелепукина и др., 2018].

Общей тенденцией динамики высокогорных ландшафтов массива Монгун-Тайга в настоящее время являются сокращение площадей снежно-ледовых образований и подъем нижней границы их распространения [Ганюшкин и др., 2013а, б]. Большинство долинных ледников на массиве отступают в последние 40 лет со скоростью 7–11 м/год [Горный массив Монгун-Тайга, 2012]. При потеплении и одновременном уменьшении количества осадков согласно расчетам на массиве сохраняются девять ледников суммарной площадью 8,9 км². Таким образом, сокращение площади ледников составит около 56 % по отношению к состоянию оледенения на 2010–2013 гг.

С одной стороны, в будущем иссушение территории вызовет уменьшение продуктивности и площади лугов как важных кормовых угодий для местного населения (локальное ухудшение экологической обстановки), с другой стороны, необходимо с достаточной

точностью спрогнозировать и оценить последствия изменения климата в данном регионе.

Наряду с наземными исследованиями влияния растительности на круговорот углерода [Биологическая продуктивность..., 2018], представляет интерес использование накопленного архива ежедневно поступающих спутниковых изображений Terra Modis для решения задачи количественной оценки влияния климатических изменений на высокогорную растительность [Tao et al., 2007; Xiao et al., 2014; Zhang et al., 2019]. Известно, что климатические изменения потенциально могут вызывать резкие изменения в круговороте углерода в экосистемах, однако остается неясным, имеют ли поглощение и высвобождение углерода, дыхание растений и микробов, наземное и подземное дыхание растений сходную или различающуюся чувствительность к градиентам осадков, суммам температур и другим метеорологическим параметрам. Также для повышения точности прогнозирования и оценки вклада растительности пойменных лугов в депонирование углерода необходимо уточнение региональных моделей продуктивности.

В Европе для решения этой проблемы Объединенный исследовательский центр Европейской комиссии (JRC) использует биофизические подходы к оценке валовой первичной продукции (GPP) через фотосинтетически активную радиацию FPAR в сочетании с оценками GPP, полученными с помощью наземных вихревых ковариационных измерительных вышек, а также наземными исследованиями [Jung et al., 2008].

Особую ценность для понимания изменений водного баланса территорий пойменных лугов представляет собой сравнение показателей потенциальной и активной эвапотранспирации и связанной с ними средней теплоты испарения.

Пойменные луга – это важнейший источник получения самого дешевого и высококачественного корма для сельскохозяйственных животных. В связи с этим они выступают первоочередным объектом организации высокопродуктивного лугопастбищного хозяйства. Кроме того, луга, наряду с лесами, выступают основой экологического каркаса агроландшафтов и хранителями биологического разнообразия. Повышение продуктивности пойменных лугов в Республике Тыва – один из резервов увеличения производства кормов.

Сложившаяся в последние десятилетия экологическая ситуация способствовала разрушению естественных фитоценозов. Происходило уменьшение урожайности сообществ, ускорение смен растительности с увеличением доли степного компонента флоры, изменение видового состава лугов (уменьшение участия бобовых и злаковых трав, низового разнотравья, осок), зарастание большинства пойменных лугов древесно-кустарниковой растительностью, усиление экспансии рудералов и инвазивных видов [Дайнеко, Тимофеев, 2020; Тюрюков, 2020; Абдушаева, Николаева, 2013].

Цель данной работы – выявление особенностей сезонной и многолетней динамики растительности пойменных лугов в долине рек Каргы и Мугур в Монгун-Тайгинском районе Республики Тыва по спутниковым данным Terra Modis.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Монгун-Тайгинский район Республики Тыва занимает юго-западную часть Тывы и примыкает к Юго-Восточному Алтаю, от которого отделяется мощным горным хр. Чихачева. От остальной части Тывы он отгорожен горными хребтами, достигающими 3000 м высоты над уровнем моря. На севере район граничит с Западно-Тувинским горно-лесостепным районом. Граница резко морфологически выражена Шапшальским хребтом. На северо-востоке граница района идет по хр. Цаган-Шибэту, за которым начинается пустынно-степной Убсунурский округ. На западе район примыкает к Алтаю, а на юге широкой долиной системы р. Тоолайлыг он открывается в пределы Монголии. Будучи огороженным со всех сторон высокими хребтами и имея абсолютные высоты до 4000 м над уровнем моря, район резко отличается от всей Тывы по характеру растительности. Это единственный район, в котором четко выражено современное оледенение и развиты типично высокогорно-альпийские типы растительности [Соболевская, 1950].

По схеме районирования Ю. М. Маскаева, Б. Б. Намзалова, В. П. Седельникова [1985], район относится к Юго-Восточной Алтайской горной степной провинции. В ее границах выделен один округ – Монгун-Тайгинский гор-

но-тундровый опустыненный (377,3 тыс. га), являющийся наиболее высокогорной территорией в Тыве. Его низшие отметки лежат на высотах около 1900 м, а высшие достигают 3970 м (гора Монгун-Тайга). В схеме пояности выражены степной, высокогорно-тундровый и нивальный пояса. Лесные пояса отсутствуют, лиственничные перелески встречаются на высоте около 2300 м в наиболее защищенных от ветра местах. В условиях криоксерофитного типа пояности встречаются альпинотипные и гольцовые формы рельефа, что обуславливает большую комплексность в растительном покрове. Климат резко-континентальный, формирующийся под влиянием сухого климата Монголии. В летний период на большой территории округа наблюдается выпадение твердых осадков. По долинам рек небольшими участками распространены долинные и суходольные луга.

Геоботанические исследования проведены в степном поясе района в долинах рек Каргы и Мугур в 2018 г. методом стационарных площадей (рис. 1).

Для каждого фитоценоза определяли следующие показатели: общее проективное покрытие и проективное покрытие (ОПП и ПП) по методике Л. Г. Раменского [1938], высоту и ярусность, фенофазу [Полевая геоботаника, 1964, 1972, 1976; Ярошенко, 1969]. Выделение синтаксонов растительности проведено по доминантам (физиономический подход) на основании работы Г. Г. Павловой, Т. В. Мальцевой, Л. П. Паршутиной [1985].

Надземную фитомассу лугов исследовали по методике И. А. Ларина [1956]. Для определения запасов надземной массы травостой срезали у поверхности почвы на площадках размером 1 × 1 м по диагонали стационарного участка в 3-кратной повторности в период максимального развития растительности (3-я декада июля).

Фитомассу разделяли по ботанико-хозяйственным группам – хвощи, осоки, злаки, бобовые, полины, разнотравье и надземная мортмасса (ветошь и мортмасса). Фитомассу взвешивали на весах с точностью 0,01 г в сыром и воздушно-сухом состоянии.

В лабораторных условиях определяли собранные растения по определителю растений Республики Тыва [Определитель растений..., 2007]. Латинские названия растений уточняли

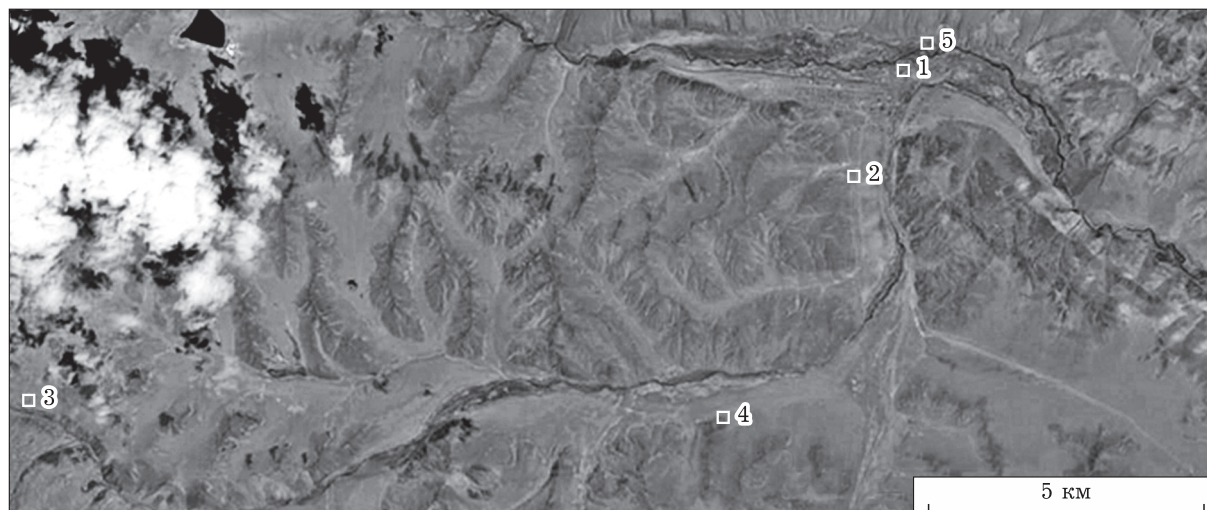


Рис. 1. Схема расположения обследованных пойменных лугов в Монгун-Тайгинском районе Республики Тыва. Координаты: участок 1 – 50,384325 и 90,447289; участок 2 – 50,367911 и 90,435682; участок 3 – 50,33714 и 90,22374; участок 4 – 50,328932 и 90,399621; участок 5 – 50,388979 и 90,455812

по The Plant List [<http://www.theplantlist.org/>]. Статистическую обработку данных (расчет среднего арифметического и стандартного отклонения (σ), регрессионный анализ) выполняли в программе Microsoft Excel.

Для исследования многолетних и сезонных изменений растительности использовались 8-дневные композитные обработанные данные версии 6.1 спутника Terra Modis с сайта App EARS [<https://apeears.earthdatacloud.nasa.gov/>]:

1. MOD17A2HGF Gross Primary Productivity (GPP) – валовая первичная продукция и скорость фотосинтеза [Running, Zhao, 2021].

2. MOD16A2GF – потенциальная (PET) и актуальная (ET) эвапотранспирация, вычисленная по уравнению Пенмана – Монтейта, а также скрытый тепловой поток [Running et al., 2021].

3. MCD15A2H (версия 6) включала комбинированную долю фотосинтетически активного излучения (FPAR) и индекс листовой поверхности (LAI – это отношение площади земли к площади всей поверхности зеленых листьев). FPAR определяется как доля падающего фотосинтетически активного излучения (400–700 нм), поглощаемого растениями [Myneni et al., 2021].

Вычисление суммарных показателей для GPP, PET и ET производилось путем интегрирования вегетационной линии, для FPAR и LAI – путем нахождения среднего арифметического за период.

Для GPP и ET были взяты данные с 2000 по 2021 г. с 30 апреля по 29 сентября, для FPAR и LAI – с 2003 по 2021 г. Расчеты включали интегрирование сезонной кривой (GPP и ET) и средней арифметической (FPAR и LAI). Для оценки изменений временного ряда определяли базисный темп прироста (БТП) по абсолютным значениям спектральных данных [Айвазян, Мхитарян, 1998].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В прирусловой части речной поймы р. Каргы исследованы три фитоценоза гликофитного, заболоченного и настоящего лугов, а также два фитоценоза ивовых зарослей по берегам р. Мугур (табл. 1).

Вышеперечисленные растительные сообщества распространены в районе исследования, развиваются в континентальных природных условиях (суровая зима, короткое лето). Большинство лугов заочкарено, периодически подтапливается и активно используется под выпас. Структура сообществ трехъярусная, кроме заболоченного луга. Минимальное ОПП (60 %) имел фитоценоз прируслового ивняка (участок 3) в переувлажненных условиях местообитания.

ОПП разнотравно-злакового (участок 4) и бобово-пырейного (участок 5) фитоценозов достигало 95 %. Помимо доминантов, встречаются виды, приуроченные к повышенной

Т а б л и ц а 1
Характеристика исследованных сообществ

№ п/п	Сообщество	ОПП, %/ кол-во видов	Ярус – доминант (ПП, %)	Виды с ПП менее 5 %
1	Заболоченный разнотравно- хвощевый луг	75/19	I – <i>Equisetum pratense</i> Ehrh. (15) + <i>E. palustre</i> L. (10) II – <i>Potentilla anserina</i> L. (15)	<i>Geranium pratense</i> L., <i>Plantago major</i> L., <i>Carduus crispus</i> Guirao ex Nyman, <i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski, <i>Salix rosmarinifolia</i> L., <i>Pentaphylloides fruticosa</i> (L.) O. Schwarz, <i>Stellaria longifolia</i> Muhl. ex Willd., <i>Taraxacum officinale</i> (L.) Weber ex F. H. Wigg., <i>Triglochin maritimum</i> var. <i>debile</i> M. E. Jones, <i>Carum carvi</i> L., <i>Artemisia glauca</i> Pall. ex Willd., <i>Aster alpinus</i> L., <i>Artemisia annua</i> L., <i>Ranunculus polyanthemus</i> L., <i>Bromopsis inermis</i> (Leyss.) Holub, <i>Hordeum jubatum</i> L.
2	Прирусловый ивняк	80/13	I – <i>Salix rorida</i> Laksch. (40) II – <i>Carex pseudofoetida</i> Kük. (10) III – <i>Equisetum pratense</i> (20) + <i>Plantago major</i> + <i>Plantago media</i> L. (по 6)	<i>Taraxacum officinale</i> , <i>Achillea millefolium</i> L., <i>Phleum phleoides</i> (L.) H. Karst., <i>Carduus crispus</i> , <i>Stellaria graminea</i> L., <i>Vicia sepium</i> L., <i>Potentilla anserina</i> , <i>Artemisia glauca</i>
3	Прирусловый ивняк	60/12	I – <i>Salix caesia</i> Vill. (35) + <i>Salix rorida</i> (7) II – <i>Geranium pratense</i> (5) III – <i>Equisetum pratense</i> (10) + <i>Plantago major</i> (5)	<i>Carex pediformis</i> C. A. Mey, <i>Artemisia depauperata</i> Krasch., <i>Carex panicea</i> L., <i>Poa annua</i> L., <i>Elytrigia repens</i> , <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Dracopcephalum grandiflorum</i> L.
4	Настоящий разнотрав- но-злаковый луг	95/24	I – <i>Elytrigia repens</i> (15) + <i>Bromopsis inermis</i> (20) II – <i>Poa tibetica</i> Munro ex Stapf (10) + <i>Aster alpinus</i> (8) III – <i>Plantago major</i> (7)	<i>Carex acuta</i> L., <i>Artemisia annua</i> , <i>Carex cespitosa</i> L., <i>Hordeum jubatum</i> , <i>Equisetum pratense</i> , <i>Galium palustre</i> L., <i>Calamagrostis macilenta</i> (Griseb.) Litv., <i>Vicia cracca</i> L., <i>Potentilla anserina</i> , <i>Veronica incana</i> L., <i>Geranium pratense</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Inula britannica</i> L., <i>Stellaria longifolia</i> , <i>Elytrigia repens</i> , <i>Artemisia palustris</i> L., <i>Lathyrus pratensis</i> L., <i>Phleum pratense</i> L., <i>Thalictrum simplex</i> L.
5	Гликофитный бобово-пырей- ный луг	95/20	I – <i>Elytrigia repens</i> (25) II – <i>Astragalus adsurgens</i> Pall. + <i>Lathyrus frolovii</i> Rupr. + <i>Vicia sepium</i> (по 7) III – <i>Artemisia palustris</i> + <i>Plantago major</i> (по 7)	<i>Hordeum jubatum</i> , <i>Salix rosmarinifolia</i> , <i>Artemisia annua</i> , <i>Ranunculus polyanthemus</i> , <i>Campanula rotundifolia</i> L., <i>Adoxa moschatellina</i> L., <i>Carduus crispus</i> , <i>Carex panicea</i> , <i>Stellaria graminea</i> , <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim., <i>Lathyrus pratensis</i> , <i>Salix caesia</i> , <i>Bromopsis inermis</i>

влажности (*Stellaria longifolia*, *Triglochin maritimum*) и сорные (*Taraxacum officinale*, *Carduus crispus*, *Artemisia annua*). По степени уменьшения увлажнения участки расположены в следующей позиции: 1, 2, 4, 3, 5. Наиболее богат видами разнотравно-злаковый настоящий луг (24 вида), наименее – прирусловые ивняки (12–13 видов).

Рассмотрим более подробно структуру надземной фитомассы травостоя исследованных сообществ (табл. 2).

В общем сырая фитомасса травостоя лугов колеблется от 1,71 кг/м² на бобово-пырейном

лугу (участок 5) до 2,4 кг/м² в прирусловом ивняке (участок 2).

Коэффициент усушки используется для перевода сена в зеленую массу и расчета урожайности кормовых угодий [Нормативный справочник..., 2007]. Для лугов на редко затопляемых местах речной поймы он равен 3,1–3,3. Сенокосы и пастбища на таких лугах поймы в степной зоне отличаются хорошим и средним качеством сена, их урожайность составляет 7–14 ц/га сухой массы. Основную массу травостоя формируют осоки, злаки и разнотравье. В травостое очень мало бобовых

Т а б л и ц а 2

Структура фитомассы лугов поймы рек Каргы и Мугур, август 2018 г.

№ участка	Состояние	Общая фитомасса, кг/м²	Коэффициент усушки	Фитомасса, %		Структура фитомассы, %					
				Надземная	Ветошь и морт-масса	Хво-щи	Осо-ки	Зла-ки	Полыни	Бобо-вые	Раз-нотра-вые
1	Сырая	2,05	3,31	1,53	0,52	0,28	0,29	0,28			0,68
	Сухая	0,62		0,51	0,11	0,05	0,10	0,09			0,27
2	Сырая	2,40	3,12	1,84	0,56		0,30	0,38	0,41		0,75
	Сухая	0,77		0,63	0,14		0,10	0,16	0,11		0,26
3	Сырая	1,95	3,15	1,54	0,41	0,16	0,36	0,47			0,55
	Сухая	0,62		0,52	0,10	0,06	0,11	0,15			0,20
4	Сырая	2,27	3,34	1,68	0,59	0,18	0,31	0,38	0,42		0,39
	Сухая	0,68		0,53	0,15	0,06	0,09	0,11	0,13		0,14
5	Сырая	1,71	3,11	1,19	0,52		0,28	0,30		0,21	0,40
	Сухая	0,55		0,43	0,12		0,09	0,10		0,08	0,16

(кроме участка 5). Доля ветоши не превышает 17,7 % от всей сухой надземной фитомассы.

В работе для изучения динамики продуктивности растительности лугов на фоне климатических изменений использовали данные Terra Modis (табл. 3).

Показатель валовой продуктивности GPP для изученных сообществ изменялся в пределах от 1,15 до 2,16 кг/м²/5 мес. Это близко к полученным наземным данным (см. табл. 2). Данные Terra Modis, таким образом, отражают основные тенденции в растительности. Скорость фотосинтеза коррелировала со значениями GPP.

Параметры, зависящие в основном от гидрологии и климатических условий, полученные по спутниковым данным, различаются незначительно, так как колебания стандартного отклонения не превышали 3 %. Так, среднее арифметическое и стандартное отклонение эвапотранспирации составило 1575 и 24 кг/м²/5 мес., потенциальной эвапотранспирации – 5519 и 161 кг/м²/5 мес., средней теплоты испарения – 489 и 6 Дж/м²/5 мес., потенциальной – 1709 и 50 Дж/м²/5 мес.

Эвапотранспирация – это сочетание двух отдельных процессов, при которых почва теряет воду через испарение, а растения – через транспирацию. Эти процессы происхо-

дят одновременно. В период начала вегетации на эвапотранспирацию влияет в основном испарение почвы, позже, при полном покрытии почвы, почти 100 % воды испаряется через транспирацию растений. Таким образом, к основным факторам, влияющим на транспирацию, относят растительность (видовой состав, высота и проективное покрытие, неоднородность и изменчивость сообществ, стадии онтогенеза, физиология растений – способность регулировать транспирацию, объем и активность корневой системы), почву (влажность, близость грунтовых вод, засоление, плотность и влагоемкость, альбедо), метеорологические условия (ветер, температура, влажность воздуха, солнечная радиация) [Аллен и др., 2001].

В среднем, потенциальные значения в 3,5 раза превышали актуальные. Анализ выявил, что минимальные показатели ЕТ были в 2001–2002 гг., а РЕТ – в 2020 г., а максимумы – соответственно в 2002, 2016, 2021 и 2022 гг. Выявлено общее снижение потенциальной эвапотранспирации за 20-летний период наблюдений на 10 % и повышение актуальной эвапотранспирации на 43 %. Таким образом, это свидетельствует об изменении водного баланса территории исследования в сторону медленного иссушения.

Отличия между показателями минимумов (2001, 2003–2004, 2009 гг.) и максимумов

**Многолетняя динамика продуктивности, эвапотранспирации и LAI поймы рек Каргы и Мугур
по данным Terra Modis в период с 2000 по 2021 г.**

№	Среднее значение/σ	Min (год)	Max (год)	БТП, %	№	Среднее значение/σ	Min (год)	Max (год)	БТП, %
Эвапотранспирация (ET), кг/м ² /5 мес.					Продуктивность (GPP), кг/м ² /5 мес.				
1	1598 / 235	1136 (2001)	1989 (2021)	40,2	1	2,16 / 0,26	1,77 (2009)	2,75 (2014)	18,5
2	1576 / 273	1060 (2002)	2012 (2020)	47,1	2	1,18 / 0,20	0,90 (2003)	1,52 (2020)	43,2
3	1535 / 247	1047 (2001)	1942 (2020)	42,9	3	1,68 / 0,20	1,29 (2009)	2,11 (2014)	44,1
4	1579 / 275	1056 (2002)	2058 (2016)	43,5	4	1,15 / 0,21	0,76 (2001)	1,50 (2021)	97,2
5	1587 / 242	1122 (2001)	1986 (2016)	40,8	5	2,06 / 0,21	1,71 (2004)	2,45 (2016)	21,7
Средняя теплота потока, Дж/м ² /5 мес.					Скорость фотосинтеза, кг/м ² /5 мес.				
1	496 / 73	352 (2001)	617 (2021)	40,3	1	1,89 / 0,22	1,52 (2009)	2,38 (2014)	17,9
2	489 / 85	329 (2002)	624 (2020)	47,2	2	1,05 / 0,17	0,81 (2003)	1,35 (2020)	44,1
3	476 / 77	324 (2001)	602 (2002)	43,0	3	1,48 / 0,17	1,15 (2009)	1,86 (2014)	44,9
4	490 / 85	328 (2002)	638 (2016)	43,4	4	1,01 / 0,19	0,68 (2001)	1,34 (2021)	97,0
5	492 / 75	348 (2001)	615 (2016)	40,7	5	1,80 / 0,18	1,50 (2004)	2,13 (2017)	20,3
Потенциальная эвапотранспирация (PET), кг/м ² /5 мес.					Фотосинтетически активная радиация (FPAR), доля от 1				
1	5377 / 393	4635 (2020)	6204 (2002)	-10,2	1	0,31 / 0,03	0,26 (2004)	0,37 (2020)	19,4
2	5572 / 438	4723 (2020)	6441 (2002)	-10,2	2	0,18 / 0,03	0,14 (2003)	0,24 (2020)	52,1
3	5501 / 404	4714 (2020)	6291 (2002)	-11,0	3	0,24 / 0,02	0,20 (2007)	0,30 (2020)	20,7
4	5765 / 439	4901 (2020)	6596 (2002)	-11,9	4	0,17 / 0,00	0,133 (2009)	0,23 (2020)	33,0
5	5379 / 398	4625 (2020)	6140 (2002)	-9,9	5	0,31 / 0,03	0,25 (2007)	0,38 (2020)	19,4
Потенциальная средняя теплота испарения, Дж/м ² /5 мес.					Индекс листовой поверхности (LAI), доля от 1				
1	1665 / 121	1437 (2020)	1919 (2002)	-10,2	1	0,65 / 0,09	0,54 (2004)	0,83 (2020)	20,0
2	1726 / 135	1464 (2020)	1992 (2002)	-10,2	2	0,33 / 0,06	0,23 (2007)	0,48 (2020)	56,5
3	1704 / 124	1461 (2020)	1945 (2002)	-10,9	3	0,47 / 0,06	0,39 (2007)	0,61 (2020)	25,9
4	1785 / 135	1520 (2020)	2040 (2002)	-11,8	4	0,32 / 0,07	0,21 (2009)	0,46 (2020)	44,1
5	1666 / 122	1434 (2020)	1899 (2002)	-9,8	5	0,64 / 0,09	0,50 (2007)	0,83 (2020)	20,0

(2014, 2016 и 2020–2021 гг.) валовой продуктивности обследованных участков показывают, что функциональная структура сообществ также различна (см. табл. 3).

Базовый темп прироста валовой продуктивности в период с 2000 по 2021 г. показал положительные значения у всех сообществ, а также различия этого показателя между фитоценозами – от 18,5 % на заболоченном разнотравно-хвощевом лугу (участок 1) до 97,2 % на разнотравно-злаковом настоящем лугу (участок 5) (см. табл. 3). Общая тенденция такова: чем меньше продуктивность и скорость фотосинтеза были в начале наблюдений (2000 г.), тем больше прирост пока-

зателей (изменения в проективном покрытии и фитомассе) отмечен в 2021 г.

Размах изменчивости взаимосвязанных показателей FPAR и LAI меньше (от 19,4 до 56,5 %), чем GPP, и наибольший БТП отмечен в ивняке (участок 2). В сравнении с другими сообществами в данной ассоциации наблюдалось наибольшее проективное покрытие *Salix rorida* (40 %) и растений с горизонтальной архитектурой листьев – *Plantago major* + *Plantago media* (по 6 % соответственно). В 2020 г. во всех ассоциациях FPAR и LAI достигали максимальных значений.

Архитектоника растительных сообществ очень сложна и трудно формализуема. Опти-

ческие свойства фитоценозов определяются оптическими свойствами листьев (поверхность листьев, состав и количество пигментов), геометрией растений (индекс листовой поверхности LAI, угловое распределение фитоэлементов растений и их массы, отражательная способность системы “почва – растительность” (проективное покрытие), угол освещения и визуирования, атмосферное пропускание солнечного излучения). Известно, что при зеленой окраске растительности возрастает поглощение в красной части спектра [Сидько и др., 2014]. Архитектура различных растений имеет свои особенности от почти горизонтально (плагиотропно) расположенных фотосинтезирующих органов у подорожников и одуванчиков до почти вертикальных (ортотропно) у осок, хвощей, злаков. Очевидно, в первом случае значения GPP будут возрастать, во втором – уменьшаться.

Регрессионный анализ показал слабую корреляцию между спутниковыми данными GPP и наземной общей сырой фитомассой ($R^2 = 0,4$, полином 3-й степени).

При сравнении значений фитомассы и GPP в 2021 г. для участков 1 и 5 разница между наземными и спутниковыми показателями немного выше в сторону данных Terra Modis, соответственно 2,05 кг/м² и 2,16 кг/м²/

5 мес.; 1,71 и 2,06 кг/м²/5 мес. Завышение параметров для первого участка может быть связано со структурой растительного покрова и с высоким проективным покрытием. Для прирусловых ивняков (участки 2 и 3) и разнотравно-злакового луга (участок 4) значения GPP несколько занижены в сравнении с наземной фитомассой из-за того, что при высоком содержании воды снижается отражение поверхности в инфракрасном диапазоне спектра. Соответственно, при сравнении реальная фитомасса и GPP следующие: для второго участка – 2,40 кг/м² и 1,18 кг/м²/5 мес., для третьего – 1,95 и 1,68, для четвертого – 2,27 кг/м² и 1,15 кг/м²/5 мес. Продуктивность остальных участков в целом соответствует наземным данным (см. табл. 2).

Показатели регрессии между отдельными спутниковыми данными по исследуемым пойменным лугам представлены в табл. 4.

Результаты регрессионного анализа между растительными сообществами различные. Обнаружена положительная корреляция между GPP и ET. На заболоченном разнотравно-хвощевом лугу (участок 1) и в прирусловом ивняке (участок 3) вода постоянно присутствует в избытке и постоянно испаряется (независимо от растительности), поэтому регрессия с данными низкая (0,19 и 0,23 соответственно). Ве-

Т а б л и ц а 4

Результаты регрессионного анализа между спутниковыми параметрами Terra Modis на территории лугов поймы рек Каргы и Мугур

Участок	Параметр	R^2
GPP и ET		
1	$y = 1E-14x^5 - 1E-10x^4 + 5E-07x^3 - 0,001x^2 + 0,8808x - 303,41$	0,19
2	$y = 8E-10x^3 - 3E-06x^2 + 0,0051x - 1,6893$	0,47
3	$y = 4E-09x^3 - 2E-05x^2 + 0,0249x - 10,275$	0,23
4	$y = -2E-09x^3 + 1E-05x^2 - 0,0196x + 11,402$	0,32
5	$y = -6E-10x^3 + 4E-06x^2 - 0,0067x + 5,7336$	0,47
GPP и FPAR		
1	$y = -0,5666x^3 + 3,7476x^2 - 8,0881x + 6,0033$	0,64
2	$y = 0,4119x^3 - 1,5106x^2 + 1,9716x - 0,7213$	0,91
3	$y = -0,7423x^3 + 3,6605x^2 - 5,855x + 3,2695$	0,59
4	$y = 0,4121x^3 - 1,3121x^2 + 1,468x - 0,4126$	0,76
5	$y = -1,0674x^3 + 6,5662x^2 - 13,222x + 9,0144$	0,78

роятно, относительно высокая корреляция на бобово-пырейном гликофитном лугу (участок 5) связана с видовым составом и физиологией растительного сообщества. На участке 2 (ивняк) обилие древесно-кустарниковой растительности, интенсивно транспирирующей в условиях избытка воды, увеличивает общую эвапотранспирацию. Регрессионная зависимость GPP и FPAR также положительная, в особенности для участка 2 с развитой кустарниковой растительностью.

Сезонная динамика GPP на примере вегетационного сезона 2021 г. представлена на рис. 2. Как видно из рисунка, все изученные сообщества имеют один наибольший пик, что соответствует сезонному развитию лугов. Пик развития фитомассы практически у всех участков, кроме бобово-пырейного луга (участок 5) (3-я декада июня), приходился на 2-ю декаду июля. Наименьшие показатели продуктивности имели участки 2 и 4, которые часто подтопляются. Средние, но стабильные показатели роста характерны для участка 3. Разнотравно-хвощевые (участок 1) и разнотравно-злаковые (участок 4) луга характеризовались значительными колебаниями показателя продуктивности. В первом случае спад приходился на самый жаркий период и зависел от понижения общего количества воды 20.07.21. Во втором случае первый спад 12.07.21 был вызван кратковременным повышением температуры до +29 °С, а перед вторым понижением GPP 05.08.21 наблюдали обильные осадки (04.08.21) (<https://www.gismeteo.ru/diary/5198/> 2021/7/).

После спадов растительность быстро восстанавливалась, так как водообеспеченность пойменных лугов достаточная.

В целом, наличие одного большого пика и плавный ход кривой GPP характерны для луговых сообществ, что соответствует наземным данным.

ОБСУЖДЕНИЕ

Для территории исследования анализ динамики продуктивности по данным Terra Modis ранее не проводился. В целях подтверждения или опровержения предположения о положительном тренде продуктивности и медленном изменении водного режима растительности в сторону иссушения необходимо сопоставить спутниковые данные с наземными исследованиями растительности Монгун-Тайгинского района других авторов.

Важно также отметить, что все показатели спутниковых снимков, хоть и отражают реальные процессы в растительности, но могут отличаться от наземных измерений. В связи с этим самым существенным являются их динамика и широкие возможности экстраполяции после наземной верификации.

Исследования В. Г. Дирксен и М. А. Смирновой [1997], посвященные растительному покрову и флоре массива Монгун-Тайга, указали на возможность (при увеличении теплообеспеченности) следующих переходов:

– в криофильном ряду преобразование высокогорных подушечников в злаково- или

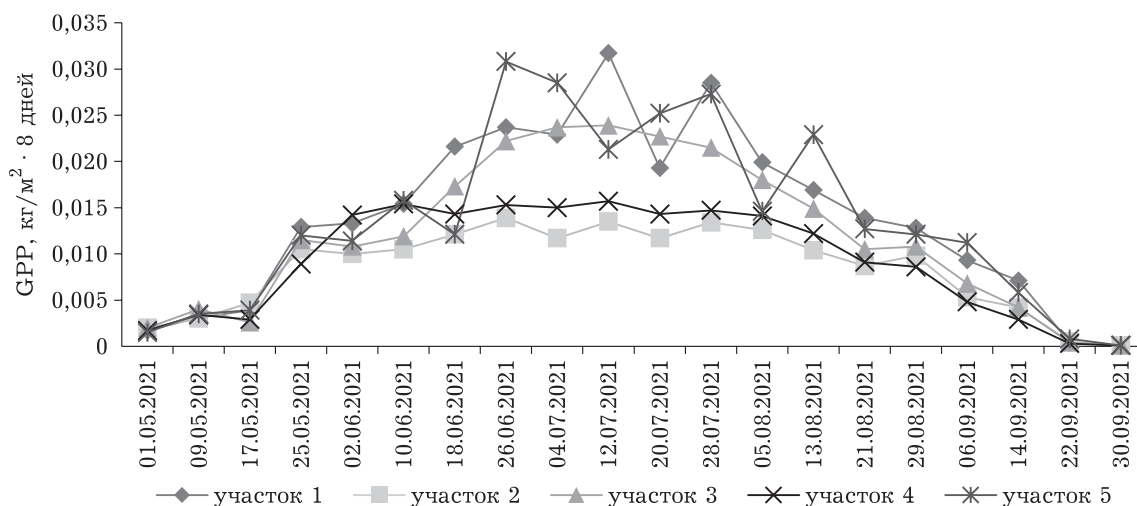


Рис. 2. Сезонная динамика продуктивности луговых сообществ в долине рек Каргы и Мугур, 2021 г.

дриадово-кобрезиевые ассоциации, ерничьих тундр – в закустаренные альпинотипные луга; кроме того, в составе кобрезников, вероятно увеличение доли овсяницево-разнотравных группировок;

– в мезофильном ряду (луговая растительность) возможна переходная стадия между хионофильными/криофитно-разнотравными лугами и закустаренными злаково-разнотравными; возможно формирование остепненных лугов. Исходя из этих данных, предположение об изменении водного режима района исследования в сторону иссушения подтверждается. Вероятно, это приведет к более широкому распространению закустаренных злаково-разнотравных и остепненных лугов. Вышесказанное также подтверждается и появлением степных видов в составе обследованных лугов (см. табл. 1) – *Pentaphylloides fruticosa*, *Artemisia glauca*, *Veronica incana* (произрастают на возвышенностях).

На возможность расширения ареалов (на южном макросклоне горного массива на высотах до 2600 м) злаково-разнотравных разновидностей лугов за счет более холодолюбивых альпинотипных, а также пограничных ареалов тундровых сообществ указывает и С. А. Гаврилкина [2015]. Автор предполагает возможность появления элементов степной растительности в составе лугов, формирование остепненных лугов (с преобладанием ксерофитных дерновинных злаков) или возникновение степей на месте злаково-разнотравных лугов на более низких ступенях массива (до 2000 м), где значения среднелетней температуры будут достигать 16 °С, а также на террасах долины р. Каргы и на хорошо дренируемых склонах северной части массива, где количество осадков за лето не превысит 100 мм. В локальных понижениях исходные разнотравные луга могут сохраниться и даже увеличить продуктивность. Среднегорные ступени массива приобретут более мезофитный облик [Гаврилкина, 2015].

При сохранении тренда на иссушение за пределами периода прогнозирования С. А. Гаврилкина [2015] указывает на возможность угнетения пойменных ивняков и последующую их замену степями на высоких дренируемых террасах рек Мугур и Каргы, за исключением мест, характеризующихся дополнительным увлажнением (склоновое, грунтовое и пр.).

Спутниковые исследования продуктивности экосистем альпийских лугов Тибета Z. Tao et al. [2007] показали, что глобальное потепление будет влиять на хранение и объем потока почвенного органического углерода в экосистемах альпийских лугов Тибетского нагорья. В горном массиве Монгун-Тайга также возможны подобные изменения. Время оборота пулов органического углерода увеличивается с глубиной почвенных горизонтов от сотен лет до тысячелетий. Более 30 % общего органического углерода почвы находится в активном углеродном пуле верхнего горизонта почвы. Это подтверждает значительную роль луговых сообществ высокогорья в поглощении CO₂, повышает их ценность как карбоновых полигонов и модельных участков для наблюдений за климатическими изменениями.

Помимо потепления климата, важно учитывать и вероятность изменения количества осадков, влияющих на продуктивность и круговорот углерода в высокогорных лугах. С этой позиции интересны данные эксперимента с шестью вариантами осадков, включая 1/12, 1/4, 1/2, 3/4 и 5/4 годовых осадков на альпийском лугу, проведенного F. Zhang [2019]. За 3 года все потоки углерода показали нелинейную реакцию на градиенты осадков, за исключением дыхания корней. Наиболее экстремальная обработка (1/12) привела к значительному снижению параметров на 15,57 %, валовой первичной продуктивности – на 17,26 % и дыхания экосистемы на – 19,05 %, в отличие от контроля. Дыхание растений было более чувствительным к изменению осадков, чем микробное.

В целом, информация по эвапотранспирации, полученная с Terra Modis, согласуется с данными по климатическим изменениям в Монгун-Тайгинском районе Тывы (потепление климата, одновременное уменьшение количества осадков, таяние ледников) [Горный массив Монгун-Тайга, 2012; Ганюшкин и др., 2013а, б; Куулар, 2015, 2016].

GPP и FPAR зависят друг от друга в большей степени, чем GPP и ET (чем больше фитомасса, процент древесно-кустарниковых видов и растений с плагитропным ростом, например *Plantago major*, *Taraxacum officinale*, *Potentilla anserina*, тем сильнее зависимость).

Анализируя взаимосвязь между совокупным FPAR вегетационного периода и годовым

GPP по типу вегетации, Jung M. et al. [2008] обнаружили, что можно улучшить точность прогнозирования продуктивности. Среднеквадратичная ошибка прогнозирования составляет порядка $250 \text{ гкал/м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$. Совокупный период вегетации FPAR объединяет ряд эффектов, имеющих отношение к GPP, таких как: продолжительность вегетационного периода, реакция растительности на условия окружающей среды и количество собираемого света, доступного для фотосинтеза. Jung M. et al. [2008] подтвердили оценку GPP на основе FPAR и почвенного покрова в континентальном масштабе. Основное преимущество такого подхода заключается в его простоте и в том, что он не требует дополнительных входных метеорологических данных, которые обычно вносят существенную неопределенность. Авторы считают, что результаты различных моделей, ориентированных на спутниковые данные, могут быть достаточно надежными для оценки функциональных моделей, относительно средней пространственной структуры GPP. Элементы такого подхода могут быть применены и для мониторинга луговых экосистем в Монгун-Тайге, при получении большего количества наземных данных возможно получить достаточно точную модель для прогнозирования продуктивности растительных сообществ по спутниковым данным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ многолетних изменений луговой растительности с 2000 по 2021 г. в районе исследования показал общий положительный тренд валовой продуктивности и различия между сообществами. На фоне роста актуальной эвапотранспирации (на 43 %) идет снижение потенциальной (на 10 %), что свидетельствует об иссушении территории исследования. Сезонные максимумы продуктивности лугов наблюдали в 2014, 2016 и 2020–2021 гг.

Критическими для луговой растительности оказались 2001, 2003–2004 и 2009 гг. Обнаружена слабая положительная корреляция между валовой продуктивностью растительности и эвапотранспирацией территории и более сильная – с фотосинтетически активной радиацией. Сезонная динамика продуктивности соответствовала луговому типу растительности.

Работа выполнена при поддержке Тувинского государственного университета (рег. № НИОКТР

AAAA-A18-118082490003-4) и по проекту Государственного задания Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, № AAAA-A21-121011290026-9.

Исследование выполнено в рамках программы деятельности НОЦ мирового уровня “Енисейская Сибирь”.

ЛИТЕРАТУРА

- Абдушаева Я. М., Николаева Т. А. Флористический состав пойменных лугов, расположенных по р. Волхов в Новгородской области // Вестн. Новгород. гос. ун-та. 2013. № 71 (2). С. 49–52.
- Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрии. М.: ЮНИТИ, 1998. 1022 с.
- Аллен Р., Перейра Л., Раес Д., Смит М. Эвапотранспирация растений. FAO № 56. 2001. 117 с. <http://cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/fao56.pdf> (дата обращения: 09.06.2022).
- Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности / А. А. Титлянова, Н. И. Базилевич, Е. И. Шмакова и др. / под ред. Г. П. Гамзикова. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. 110 с.
- Гаврилкина С. А. Реакции пространственной структуры ландшафтов высокогорного массива Монгун-Тайга (Западная Тува) на изменения климата: дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2015. 102 с.
- Ганюшкин Д. А., Москаленко И. Г., Чистяков К. В. Особенности динамики многолетних снежников массива Монгун-Тайга в 1966–2011 гг. // Лед и снег. 2013а. Т. 53, № 4. С. 43–51.
- Ганюшкин Д. А., Чистяков К. В., Буюева М. В. Изменчивость высотного положения фирновой линии на ледниках Алтае-Саянской горной страны и ее связь с климатическими параметрами // Изв. Рус. геогр. о-ва, 2013б. Т. 145, № 4. С. 45–53.
- Горный массив Монгун-Тайга / ред. К. В. Чистяков. СПб.: Арт-Экспресс, 2012. 310 с.
- Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф. Состав и структура пойменных лугов бассейна р. Сож. Чернигов: Десна Полиграф, 2020. 208 с.
- Дирксен В. Г., Смирнова М. А. Характеристика растительности северного макросклона высокогорного массива Монгун-Тайга (Юго-Западная Тува) // Ботан. журн. 1997. Т. 82, № 10. С. 120–131.
- Зелепукина Е. С., Гаврилкина С. А., Лесовая С. Н., Галанина О. В. Ландшафтная структура высотной экотонной полосы высокогорного массива Монгун-Тайга // Изв. Рус. геогр. о-ва. 2018. Т. 150, № 2. С. 33–47.
- Куулар Х. Б. Особенности климата Республики Тыва во второй половине XX в. и в XXI в. // Метеорология и гидрология. 2015. № 1. С. 51–57.
- Куулар Х. Б. Мониторинг потепления климата в Республике Тыва по данным наблюдений // Естественные и технические науки. 2016. № 12 (102). С. 153–157.
- Ларин И. А. Луговое хозяйство и пастбищное хозяйство. М. – Л.: Сельхозгиз, 1956. 544 с.
- Маскаев Ю. М., Намзалов Б. Б., Седелников В. П. Геоботаническое районирование // Растительный покров и естественные кормовые угодья Тувинской АССР / А. В. Куминова, В. П. Седелников, Ю. М. Маскаев и др. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. С. 210–247.

- Миркин Б. М., Наумова Л. Г. Введение в современную науку о растительности. М.: ГЕОС, 2017. 280 с.
- Нормативный справочник по организации, планированию и предпринимательству на сельскохозяйственных предприятиях / сост. В. Г. Жужгов, Т. М. Малугина, А. В. Марченко, А. Ф. Меньщикова и др., ред. З. Е. Пахтусов, Н. А. Светлакова. Пермь: Изд-во ПГСХА, 2007. 193 с.
- Определитель растений Республики Тыва / И. М. Красноров, М. Н. Ломоносова, Д. Н. Шауло и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 706 с.
- Павлова Г. Г., Мальцева Т. В., Паршутин Л. П. Луга // Растительный покров и естественные кормовые угодья Тувинской АССР / А. В. Куминова, В. П. Седелников, Ю. М. Маскаев и др. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. С. 154–179.
- Полевая геоботаника / под общей ред. Е. М. Лавренко, А. А. Корчагина. Т. 3–5. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1964, 1972, 1976.
- Раменский Л. Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М.: Сельхозгиз, 1938. 600 с.
- Сидько А. Ф., Ботвич И. Ю., Письман Т. И., Шевыринов А. П. Угловое распределение отражательных характеристик агроценозов по наземным дистанционным измерениям // Журн. Сиб. федерал. ун-та. Техника и технологии. 2014. № 7(6). С. 665–673.
- Соболевская К. А. Растительность Тувы. Новосибирск: Тип. № 1 Полиграфиздата, 1950. 139 с.
- Тюрюков А. Г. Приемы улучшения пойменных лугов центральной части Оби // Тр. Новосиб. гос. архитектурно-строительного ун-та (Сибстрин). 2020. Т. 23, № 2 (76). С. 145–152.
- Ярошенко П. Д. Геоботаника. М.: Просвещение, 1969. 200 с.
- AppEEARS Team. Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples (AppEEARS). Ver. 3.2.1. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota, USA. <https://appeears.earthdatacloud.nasa.gov> (дата обращения: 09.06.2022).
- Gismeteo.ru. Прогноз погоды. <https://www.gismeteo.ru/diary/5198/2021/7/> (дата обращения: 09.07.2022).
- Jung M., Verstraete M., Gobron N., Reichstein M., Papale D., Bondeau A., Robustelli M., Pinty B. Diagnostic assessment of European gross primary production // Global Chan. Biol. 2008. Vol. 14, N 10. P. 2349–2364. doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01647
- Myneni R., Knyazikhin Y., Park T. MODIS/Terra Leaf Area Index/FPAR8-Day L4 Global 500m SIN Grid V061. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD15A2H.061>. 2021
- Running S., Mu Q., Zhao M., Moreno A. MODIS/Terra Net Evapotranspiration Gap-Filled 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V061. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD16A2GF.061>. 2021
- Running S., Zhao M. MODIS/Terra Gross Primary Productivity Gap-Filled 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V061. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD17A2HGF.061>. 2021
- Tao Z., Shen C., Gao Q., Sun Y., Yi W., Li Y. Soil organic carbon storage and soil CO₂ flux in the alpine meadow ecosystem // Science in China Series D-earth Sciences. 2007. Vol. 50, N 7. P. 1103–1114. doi: 10.1007/s11430-007-0055-3
- The Plant List. <http://www.theplantlist.org/> (дата обращения: 09.07.2022).
- Xiao X., Jin C., Dong J. Gross Primary Production of Terrestrial Vegetation // Gross Primary Production of Terrestrial Vegetation / J. M. Hanes (ed.). Biophysical Applications of Satellite Remote Sensing. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014. P. 127–148. doi: 10.1007/978-3-642-25047-7_5
- Zhang F., Quan Q., Ma F., Tian D., Zhou Q., Niu S. Differential responses of ecosystem carbon flux components to experimental precipitation gradient in an alpine meadow // Funct. Ecol. 2019. Vol. 33, N 5. P. 889–900. doi: 10.1111/1365-2435.13300

Dynamics of vegetation productivity in floodplain meadows of the Mongun-Taiginsky district of the Republic of Tyva according to Terra Modis data

E. Yu. ZHUKOVA¹, I. N. BARSUKOVA^{1, 2}, A. A. ZHUKOV¹

¹*Katanov Khakass State University
655017, Abakan, Lenin av., 90
E-mail: saphronovairina@mail.ru*

²*Central Siberian Botanical Garden SB RAS
630090, Novosibirsk, Zolotodolinskaya str., 101*

The results of studies of the dynamics of productivity, photosynthetically active radiation and evapotranspiration according to Terra Modis data for 5 test plots in the near-channel part of the floodplains of the Kargy river (a glycophyte, a swampy valley and a valley meadows), as well as willow thickets along the banks of the Mugur river, are presented. Analysis of long-term changes in meadow vegetation from 2000 to 2021 in the study area showed a general positive trend in gross productivity and differences between communities. Against the background of an increase in actual evapotranspiration (by 43 %), there is a decrease in potential (by 10 %), which indicated the drying up of the study area. Seasonal maxima of meadow productivity were observed in 2014, 2016 and 2020–2021. The years 2001, 2003–2004, and 2009 turned out to be critical for meadow vegetation. A weak positive correlation was found between the gross productivity of vegetation and the evapotranspiration of the territory, and a stronger one with photosynthetically active radiation. The seasonal dynamics of productivity corresponded to the meadow type of vegetation.

Key words: productivity, evapotranspiration, Terra MODIS, meadows, Mongun-Taiga.