

УДК 911.5.6

DOI: 10.46698/VNC.2023.55.13.011

Оригинальная статья

Динамика соотношения фракций фитомассы и мортмассы на ключевых участках карбонового полигона в Чеченской Республике

А.Н. Гуня^{1,3}, У.Т. Гайрабеков^{2,3}, Л.Ш. Махмудова³, З.Ш. Гагаева^{2,3}

¹ Институт географии Российской академии наук, Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 29, e-mail: a.n.gunya@igras.ru;

² Академия наук Чеченской Республики, Россия, 364024, г. Грозный, ул. В. Алиева, 19а;

³ Грозненский государственный нефтяной технический университет имени акад. М.Д. Миллионщикова, Россия, 364024, г. Грозный, пр. Х. Исаева, 100.

Статья поступила: 25.08.2023, доработана: 27.11.2023, принята к публикации: 06.12.2023

Резюме: Актуальность работы. Баланс и динамика углерода требуют детального анализа соотношения фракций фитомассы и мортмассы в биогеоциклах. Особенно важным является переход зеленой фитомассы в мортмассу с дальнейшим ее разложением и депонированием либо в почву, либо в летучие соединения. Вследствие чего необходимо уделять особое внимание измерениям различных составляющих мортмассы: опада, отпада, ветоши, подстилки, промежуточных гумусовых соединений и климатически активных газов. При этом особенно важно понять влияние климатических условий на скорость разложения составляющих мортмассы, так как основное влияние на эти процессы оказывают не только температура и осадки, но и суточные, сезонные и годовые колебания метеоклиматических параметров. Для изучения деталей этой динамики были использованы данные микроклиматических наблюдений на ключевых участках и регулярные измерения динамики фитомассы. **Цель статьи** – выявление основных факторов и условий, лежащих в основе динамики соотношения зеленой фитомассы и мортмассы на двух ключевых участках карбонового полигона в Чеченской Республике, расположенных в различных почвенно-климатических условиях. **Методы работы.** Крупномасштабное ландшафтное картографирование на ключевых участках, детальные микроклиматические исследования с помощью установленных логгеров – датчиков температуры и влажности, а также наблюдения за состоянием растительного покрова. Особое внимание уделялось замерам отдельных фракций мортмассы на различных участках и в разных условиях микрорельефа, биогеоценоза. Учет надземной фитомассы проводился методом обмера деревьев, последующего расчёта объема и массы. Надземная травянистая фитомасса и мортмасса определялись на основе укосов с площадок размером 50×50 см в трехкратной повторности в различные периоды развития растительности. Для оценки биологической продуктивности использовались данные по запасам надземной массы на единицу площади (г/м², т/га). Отбирались также образцы почв для определения гумуса и основных питательных веществ. **Результаты работы.** Находящиеся в различных ландшафтных условиях ключевые участки на Чеченской равнине и в низкогорье обнаруживают различные условия динамики углерода. Наблюдения, проведенные на ключевых участках, и расчет разных фракций фитомассы позволили охарактеризовать условия по эмиссионному потенциалу природных комплексов двух ключевых участков карбонового полигона в Чеченской Республике, расположенных в разных ландшафтных условиях. Количество фитомассы в низкогорных ландшафтах (Рошни-Чу) почти в два раза превышает количество фитомассы на равнине (Черноречье). Это объясняется различными почвенно-климатическими условиями и антропогенной деятельностью. Смена сезонных состояний природных комплексов участков карбоно-

вого полигона от холодного к теплому периодам и связанная с этим интенсивность тепловлагообмена лежат в основе динамики перехода зеленой фитомассы в мортмассу, которая далее разлагается на газы, частично минерализируется и откладывается в почву. Заповедование на участке Черноречья ведет к более интенсивному накоплению наземной мортмассы, восстановлению подлеска, более сложно устроенной вертикальной структуры. Однако это не гарантирует депонирования углерода в почвах, большая его часть уходит в атмосферу. По всей видимости, нужны меры для утилизации надземной мортмассы, направленные на депонирование углерода.

Ключевые слова: динамика углерода, биогеоциклы, ландшафтные условия, фитоценозы, опад, опад, ветошь, подстилка.

Благодарности: Работа выполнена в рамках госзадания ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова FZNU-2023-0001 «Оценка эмиссионного потенциала парниковых газов промышленных предприятий и разработка комплекса секвестрационных мер (на примере предприятий ТЭК и ЖКХ Чеченской Республики).

Для цитирования: Гуня А.Н., Гайрабеков У.Т., Махмудова Л.Ш., Гагаева З.Ш. Динамика соотношения фракций фитомассы и мортмассы на ключевых участках карбонового полигона в Чеченской Республике. *Геология и геофизика Юга России*. 2023. 13(4): 135-148. DOI: 10.46698/VNC.2023.55.13.011

GEOECOLOGY

DOI: 10.46698/VNC.2023.55.13.011

Original paper

Dynamics of the ratio of phytomass and mortmass fractions in key areas of the carbon landfill in the Chechen Republic

A.N. Gunya ^{1,3}, U.T. Gayrabekov ^{2,3}, L.Sh. Makhmudova ³, Z.Sh. Gagaeva ^{2,3}

¹ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences,
29 Staromonetny Lane, Moscow 119017, Russian Federation, e-mail: a.n.gunya@igras.ru;

² Academy of Sciences of the Chechen Republic, 19a V. Aliyev Str.,
Grozny 364024, Russian Federation;

³ Grozny State Oil Technical University named after Academician M.D. Millionshchikov, 100
Ave. H.A. Isaeva, Grozny 364051, Russian Federation

Received: 25.08.2023, revised: 27.11.2023, accepted: 06.12.2023

Resume: Relevance. The balance and dynamics of carbon require a detailed analysis of the ratio of phytomass and mortmass fractions in biogeocycles. Of particular importance is the transition of green phytomass to mortmass with its further decomposition and deposition either into the soil or into volatile compounds. As a result, it is necessary to pay special attention to the measurements of various components of the mortmass: litter, waste, rags, intermediate humus compounds and climatically active gases. At the same time, it is especially important to understand the influence of climatic conditions on the rate of decomposition of mortmass components, since these processes are mainly influenced not only by temperature and precipitation, but also by daily, seasonal and annual fluctuations in meteorological parameters. To study the details of this dynamics, we used data from microclimatic observations in key areas and regular measurements of phytomass dynamics. **The purpose** of the article is to identify the main factors and conditions underlying the dynamics of the ratio of green phytomass and mortmass in two key areas of the carboniferous polygon in the Chechen Republic, located in different soil and climatic conditions. **Methods.** Large-scale landscape mapping in key areas, detailed microclimatic studies using installed loggers – temperature and humidity sensors, as well as observations of the state of vegetation. Particular attention was paid to the measurements of individual fractions of mortmass in different areas and under different conditions

of microrelief, biogeocenosis. Accounting for aboveground phytomass was carried out by measuring trees, followed by calculation of volume and weight. Aboveground herbaceous phytomass and mortmass were determined on the basis of cuts from sites 50×50 cm in size in triplicate at different periods of vegetation development. To assess biological productivity, data on stocks of aboveground mass per unit area (g/m^2 , t/ha) were used. Soil samples were also taken to determine humus and key nutrients. **Results.** The key areas on the Chechen Plain and in the low mountains, located in different landscape conditions, exhibit different conditions of carbon dynamics. Observations carried out in key areas and calculation of different phytomass fractions made it possible to characterize the conditions for the emission potential of natural complexes of two key areas of the carboniferous range in the Chechen Republic, located in different landscape conditions. The amount of phytomass in low-mountain landscapes is almost twice the amount of phytomass in the plains. This is due to various soil and climatic conditions, anthropogenic activities. The change in the seasonal states of the natural complexes of the areas of the carboniferous polygon from cold to warm periods and the intensity of heat and moisture exchange associated with this underlie the dynamics of the transition of green phytomass to mortmass, which further decomposes into gases, partially mineralizes and is deposited in the soil. The conservation in the area of Chernorechye leads to a more intensive accumulation of ground mortmass, restoration of undergrowth, a more complex vertical structure. However, this does not guarantee the deposition of carbon in soils; most of it goes into the atmosphere. Apparently, measures are needed for the disposal of aboveground mortmass, aimed at carbon sequestration.

Keywords: carbon dynamics, biogeocycles, landscape conditions, phytocenoses, decay, rags, litter.

Acknowledgements: *The work was carried out within the framework of the state task of the GGNTU named after Academician M.D. Millionshchikov FZNU-2023-0001 "Assessment of the emission potential of greenhouse gases of industrial enterprises and the development of a set of sequestration measures (on the example of fuel and energy and housing enterprises of the Chechen Republic).*

For citation: Gunya A.N., Gayrabekov U.T., Makhmudova L.S., Gagaeva Z.Sh. Dynamics of the ratio of phytomass and mortmass fractions in key areas of the carbon landfill in the Chechen Republic. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South. (in Russ.)*. 2023. 13(4): 135-148. DOI: 10.46698/VNC.2023.55.13.011

Введение

Баланс и динамика углерода требуют детального анализа составляющих биогеоцикла. Особенно важным является переход зеленой фитомассы в мортмассу с дальнейшим ее разложением и депонированием либо в почву, либо в летучие соединения. Вследствие этого особое значение должно уделяться измерениям различных составляющих мортмассы: опада, отпада (в лесных сообществах), ветоши, подстилки, промежуточных гумусовых соединений и климатически активных газов.

В горах запасы мортмассы могут значительно колебаться в зависимости от конкретного природного комплекса и сезона [Malysheva et al., 2017; Abalori et al., 2022; Amanuel et al., 2018; Hilton, West, 2020; Jakšić et al., 2021]. Различия соотношения отмерших органов растений с зелеными фракциями могут достигать нескольких раз [Гуныя, 2010]. В пик вегетационной активности субальпийских лугов мортмасса по отношению к зеленой фитомассе может достигать более 30% [Гулов и др., 2022] и даже более 40% веса фитомассы [Самбыла, 2014]. Образование мортмассы в результате отмирания зеленой массы происходит в разных ландшафтах с разной скоростью и в разное время. Так, в степных сообществах наиболее интенсивный период с апреля по сентябрь [Дубынина, 2018]. Запасы мортмассы во многом зависят от характера предшествующего года.

Особенно важно понять влияние климатических условий на скорость разложения составляющих мортмассы. Большое влияние на это оказывают не только суммы температур и осадков, но и суточные, сезонные и межгодовые колебания метеоклиматических параметров, которые выражаются в формировании и динамике состояний природных комплексов [Братков, Атаев, 2009; Атаев, Братков, 2009].

В данной работе целью является выявление основных факторов и условий, ле-

жащих в основе динамики соотношения зеленой фитомассы и мортмассы на ключевых участках карбонового полигона в Чеченской Республике: Чернореченском (в природоохранной зоне г. Грозный) и Рошни-Чу (Чернолесье).

Методы исследований

Основными методами исследования стало крупномасштабное ландшафтное картографирование на ключевых участках [Гуния и др., 2022], детальные микроклиматические исследования с помощью установленных логгеров – датчиков температуры и влажности, а также наблюдения за состоянием растительного покрова по методике Н.Л. Беручашвили (1986) [Беручашвили, 1986]. Особое внимание уделялось замерам отдельных фракций мортмассы на различных участках и в разных условиях микрорельефа, биогеоценоза. Учет надземной фитомассы проводился методом обмера деревьев, последующего расчета объема и массы (отдельно стволов, веток, листьев, корней). Надземная травянистая фитомасса и мортмасса определялись на основе укосов с площадок размером 50×50 см в трехкратной повторности в различные периоды развития растительности. Зеленую растительную массу срезали на уровне почвы (P_i), ветошь (M_m), подстилку (M_l) и опад (M_d) отбирали отдельно. Для оценки биологической продуктивности использовались данные по запасам надземной массы на единицу площади (г/м², т/га). Ветошь, подстилка и опад образуют мортмассу (M_m + M_l + M_d – по Беручашвили, 1986) [Беручашвили, 1986]. Образцы фитомассы высушивались, затем взвешивались (ошибка подсчета среднего не превышает ±15 %). Отбирались также образцы почв для определения гумуса и основных питательных веществ.

Результаты работы и их обсуждение

Участок Черноречья

Участок карбонового полигона в Черноречье расположен в водоохранной зоне г. Грозный на высоте 169 м над уровнем моря на выровненной поверхности Чеченской равнины, прилегающей к террасовым комплексам р. Сунжа, сложенным верхнечетвертичными отложениями из суглинков, песков и глин. Здесь сформировались широколиственно-лесные ландшафты, находящиеся в настоящее время под природоохранным режимом. Мониторинговая площадка представляет выровненную



ную субгоризонтальную поверхность с дубовым с участием клена, ясеня, боярышника рыхлопокрытым, местами черемшovým и овсяницевым, лесом с большим количеством отпада деревьев (рис. 1).

*Рис. 1. Дубовый разновозрастный лес на участке Черноречья /
Fig. 1. Oak forest of different ages on the site of Chernorechye*

Первый древесный ярус высотой 20 м образован дубом черешчатым (*Quercus robur*), встречается клен полевой (*Acer campestre*), ясень (*Fraxinus excelsior*), боярышник (*Crataegus monogyna*), свидина (*Cornus sp.*). Лес находится в стадии восстановления, группы деревьев расположены нерегулярно, имеются поляны с повалившимися деревьями. На открытых участках больше ясеня. Диаметр стволов самых крупных экземпляров не превышает 50 см. Подлесок образует боярышник (высотой до 10 м), клен (до 10 м) и свидина высотой до 4 м.

Под дубовыми лесами часто встречаются почти сплошные куртины черемши (*Allium ursinum*) с проективным покрытием около 90%. Ближе к полянам в травянистом покрове преобладает разнотравье из овсяницы (*Festuca sp.*), подмаренника (*Galium sp.*), окопника (*Symphytum sp.*), морковника (*Silaum sp.*), вероники (*Veronica chamaedrys*), яснотки (*Lamium album*). Травянистый и почвенный покров часто нарушается рытвинами диких кабанов. Проективное покрытие травостоя вблизи полян составляет около 60%.

Под лесной растительностью сформировались черноземы с признаками выщелачивания; видимая мощность до 70 см. Опад постепенно переходит в темно-серую подстилку, рыхлую, с обилием корней, слабо разложившуюся с включением суглинистых фракций мощностью до 12 см (A0-A1). Это горизонт подстилается гумусово-иллювиальным горизонтом A(B) до 30 см, коричневато-серым, легкосуглинистым, комковато-ореховатым, с корнями, уплотненным. Ниже расположен иллювиальный горизонт B (30-52 см), светло-коричневый, среднесуглинистый, плотный, комковато-ореховатый. Нижняя часть профиля представлена горизонтом BC (52-70 см), каштановым, ореховатым, плотным, среднесуглинистым.

В верхних горизонтах почвы наблюдаются слабощелочные условия, но к нижним повышается щелочная среда (рН от 7,8 до 8,5), наблюдаются вкрапления известковистых образований (табл. 1). Содержание гумуса понижается от 6,8% в верхних горизонтах до 1,8% – в нижних. Черноземные почвы имеют гуматный (в горизонте А) и фульватно-гуматный (в горизонте В) состав гумуса, вследствие чего средневзвешенное содержание углерода в гумусе изменяется в пределах 51,1–50,5% [Королев, Громовик, 2018]. Учитывая эти расчеты, можно условно считать, что содержание углерода примерно в два раза меньше массы гумуса в почвах.

Таблица 1 / Table 1

**Некоторые показатели плодородия почв участка Черноречье /
Some indicators of soil fertility of the Chernorechye site**

Горизонт / Horizon	Мощность, см / thickness, cm	рН/pH	Содержание гумуса (%) / Humus content (%)	Содержание азота (мг/100 г) / Nitrogen content (%)	Соотношение C/N / C/N ratio	Содержание фосфора (мг/100 г) / Phosphorus content (mg/100 g)	Содержание калия (мг/100 г) / Potassium content (mg/100 g)
A0-A1	0-12	7,8	6,9	1,2	2,8	0,8	33
AB	12-30	7,9	5,6	1,4	2,0	0,6	20
B	30-52	8,3	2,9	1,4	1,0	0,6	20
B-BC	52-70	8,5	1,8	1,7	0,5	0,6	17

Содержание питательных веществ фосфора и калия низкое, оно падает от верхних к нижним горизонтам. При этом растет незначительно количество азота. Соотношения углерода к азоту почвы также показывают низкие показатели активности.

Определение фитомассы древостоя по методике, используемой при экспедиционных исследованиях [Беручашвили, Жучкова, 1997], выявило, что в сухом виде она составляет 203,6 т/га, из них на надземную часть приходится 162,8 т/га, на корни – 40,85 т/га (табл. 2). Такие значения фитомассы древостоя связаны с относительно молодым возрастом лесных насаждений, наличием большого количества полян. Значительное количество составляет отпад деревьев – около 10 т/га, в основном это клены. Собственно, экземпляры дуба еще достаточно молоды на нынешней стадии сукцессии. Воздушно-сухая травянистая фитомасса сильно различается в зависимости от местоположения, в пик вегетационного периода она составляет в среднем около 10 ц/га.

Таблица 2 / Table 2

**Фитомасса фракционных частей лесного сообщества участка Черноречья, т/га /
Phytomass of fractional parts of the forest community of the Chernorechye area, t/ha**

Деревья / Trees	Вес стволов / Weight of trunks	Вес листьев / Weight of leaves	Вес веток / Branch weight	Вес корней / Root weight
Дуб / Oak	119	3	28,5	38
Клен / Maple	0,46	0,01	0,07	0,13
Боярышник / Hawthorn	9,7	0,23	1,56	2,65
Ясень / Ash	0,02	0,0004	0,003	0,005
Свидина / Svidina	0,23	0,006	0,037	0,064
Всего / Total	129,41	3,25	30,17	40,85
Общий вес / Total weight	162,8 т/га			40,85 т/га

Участок Рошни-Чу (Чернолесье)

Участок карбонового полигона в Рошни-Чу расположен на северном макросклоне Чёрных гор на высотах от 418 до 542 м. Склон сложен палеоген-неогеновыми осадочными породами, представленными мергелями с прослоями аргиллитов, песчаников, алевролитов. Здесь сформировались низкогорные широколиственно-лесные ландшафты, в разной степени измененные человеком в результате многовекового использования под рубки, в меньшей степени под выпас скота. Мониторинговая



площадка находится в нижней части отрога хребта и представляет склон северо-восточной экспозиции крутизной 12–15°, местами осложненный микробуграми, с грабовым с участием ясеня, груши и вишни лещиновым рыхлопокровным лесом (рис. 2).

Рис. 2. Грабовый лещиновый рыхлопокровный лес на участке Рошни-чу /
Fig. 2. Hornbeam hazel loosely-covered forest on the Roshni-chu site

Первый древесный ярус высотой 15-16 м образован грабом (*Carpinus betulus*), единично в нем встречается ясень (*Fraxinus excelsior*) и плодовые деревья – груша (*Pyrus caucasica*) и черешня (*Cerasus avium*). Для граба характерна дву-, местами трехствольность, невысокий коэффициент стройности (0,4-0,5). Диаметр стволов составляет 24-58 см. Хорошо выраженный подлесок образует лещина (*Corylus avellana*), высота которой достигает 9-10 м. Для нее типична многоствольность, в том числе наличие сухих стволов. Диаметр стволов составляет 8-15 см. На поверхности почвы также наблюдаются поваленные стволы деревьев, сухие ветви. Немногочисленный подрост более разнообразен – встречается граб (высотой до 0,5 м), дуб (0,1 м), бук (0,2 м), ясень (0,02 м), клен (0,3 м), вяз (0,2 м).

В травяном покрове преобладает разнотравье – живучка (*Aiuga reptans*), купена (*Polygonatum orientale*), подлесник (*Sanicula europaea*), фиалка (*Viola canina*), примула (*Primula* sp.), земляника (*Fragaria vesca*), дремлик (*Epipactis helleborine*), есть осока (*Carex* sp.), встречается папоротник-щитовник (*Dryopteris filix-mas*). Проективное покрытие травостоя составляет 7%. Из внеярусных растений отмечен тамус (*Dioscorea communis*).

Под лесной растительностью сформировались буроземы мощностью до 51 см. Опад мощностью 1 см подстилается горизонтом 0А до 4 см с обилием корней и А – до 13 см, серо-коричневый, среднесуглинистый, непрочно комковатый, с корнями и включениями мергеля. Ниже расположены иллювиальный горизонт Вt (13-29 см), буро-коричневый, среднесуглинистый, плотный с пятнами ожелезнения, мелко-комковато-ореховатый и менее плотный ВС. Почвы не вскипают от 10% соляной кислоты в отличие от включений мергеля разного размера, число которых увеличивается в нижних горизонтах почв.

Определение фитомассы древостоя выявило, что в сухом виде она составляет 417,68 т/га, из них на надземную часть приходится 340,77 т/га, на корни – 76,91 т/га (табл. 3). Такие большие значения фитомассы древостоя связаны с произрастанием в лесу старых экземпляров граба большого диаметра – 59 и 50 см и груши (60,5 см). Значительна фитомасса и подлеска – надземная фитомасса достигает 29,6 т/га, подземная – 4,99 т/га. Воздушно-сухая травянистая фитомасса небольшая и составляет всего 0,1 т/га в июле.

Таблица 3 / Table 3

**Фитомасса фракционных частей лесного сообщества, т/га /
Phytomass of fractional parts of the forest community, t/ha**

Деревья / Trees	Вес стволов / Trunk weight	Вес листьев / Leaf weight	Вес веток / Branch weight	Вес корней / Root weight
Граб / Hornbeam	184,82	4,80	48,05	53,6
Груша / Pear	74,97	1,87	12,74	20,24
Вишня / Cherry	10,154	0,25	1,72	2,74
Ясень / Ash	1,17747	0,028	0,188	0,33
Всего / Total	271,12	6,95	62,7	76,91
	340,77 т/га			76,91
Кустарники / Shrubs	Вес стволов / Trunk weight	Вес листьев / Leaf weight	Вес веток / Branch weight	Вес корней / Root weight
Лещина / Hazel	16,63	1,33	11,64	4,99
Общий вес / Total weight	29,6			4,99

Сравнение и дискуссия

Таким образом, находящиеся в различных ландшафтных условиях фитоценозы участков Черноречья и Рошни-Чу обнаруживают различные условия для динамики углерода (рис. 3). Полученные данные сравнимы с оценками других исследователей. По данным Н.Л. Беручашвили (1995) [Беручашвили, 1995], суммарная фитомасса в грабовых лесах низкогорных ландшафтов составляет 192 т/га, при этом на наземную древесную фитомассу приходится 191 т/га, из на наземную 155 т/га при нулевой фитомассе кустарников. По другим данным, запас наземной фитомассы в грабовых лесах достигает 309,48 т/га, а подземной части – 67,30 т/га [Базилевич, 1993].

В случае Черноречья древесные фитоценозы являются относительно молодыми, здесь отмечаются следы долговременной человеческой деятельности, хотя в настоящее время введён природоохранный режим со строгим запретом на всякое использование. Здесь довольно большое количество мортмассы, которая находится в разных фракциях: отпад, опад, ветошь, подстилка. На участке Рошни-Чу наблюдается хозяйственная деятельность в виде выпаса, а до недавнего времени – заготовка дров и хвороста. Леса в отличие от чернореченских в основном зрелые, мертвопокровные. Запасы фитомассы превышают таковые в Черноречье почти в два раза. Очевидно, что разные биогеоциклы лежат в основе различной динамики углерода. Для изучения деталей этой динамики были использованы данные микроклиматических наблюдений на ключевых участках и регулярное наблюдение за динамикой фитомассы.



Рис. 3. Фитоценозы предгорно-лесных заповедуемых (Черноречье, слева) и низкогорно-лесных в состоянии использования (Рошни-Чу, справа) ландшафтов /

Fig. 3. Phytocenoses of foothill-forest protected (Chernorechye, left) and low-mountain-forest in a state of use (Roshni-Chu, right) landscapes

Весьма важны для определения интенсивности биогеоцикла температурные и влажностные условия. В Черноречье сумма осадков весьма неустойчива из года в год и не превышает 300 мм осадков преимущественно в жидком виде. В наблюдаемые годы сумма осадков составила с июня 2022 по июнь 2023 года 194 мм, что лежит ниже порога влажности для лесных ландшафтов. При этом основная доля осадков приходится на весенне-раннелетний период (рис. 4). Определенную долю влаги растения получают за счет внутрипочвенного стока и грунтовых вод. Они залегают относительно неглубоко в Черноречье и обеспечивают влагой корневые системы лесных сообществ.

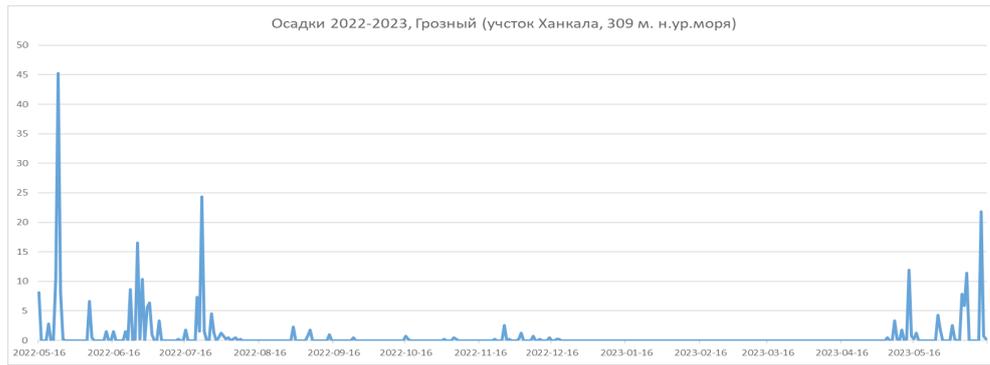


Рис. 4. Количество осадков в 2022-2023 году по данным метеостанции Ханкала (Кампус), 290 м н. у. м. /

Fig. 4. Precipitation in 2022-2023 according to the Khankala weather station (Campus), 290 m above sea level

Как показывают графики суточного хода температур в активный вегетационный период на ключевых участках (рис. 5), температурный режим на равнинном участке отличается большими амплитудами. Здесь максимальные температуры превышают 30° жары, а минимальные опускались до 10° тепла. В Рошни-Чу температурный ход более выровненный, что, по-видимому, обусловлено присклоновым положением участка, сформированным пологом леса, приглушающим температурные колебания.

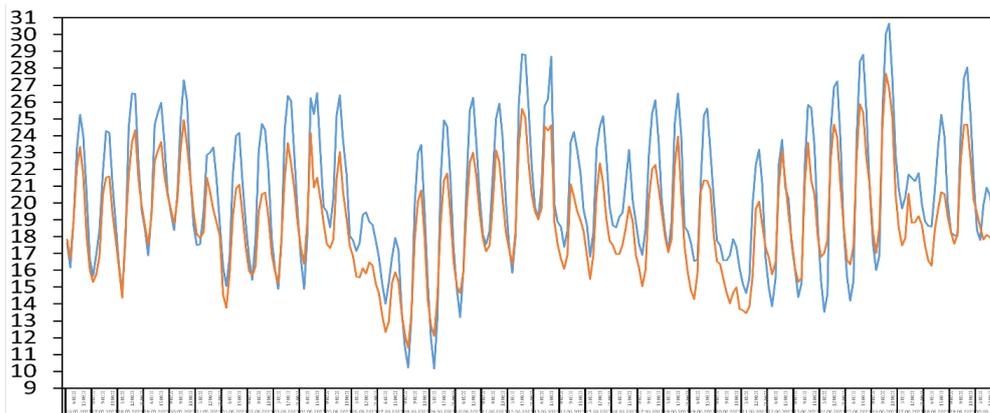


Рис. 5. Графики суточного хода температур с 26 мая по 30 июня на участках в Черноречье (синяя линия) и Рошни-Чу (красная линия) /

Fig. 5. Graphs of the daily course of temperatures from May 26 to June 30 at sites in Chernorechye (blue line) and Roshni-Chu (red line)

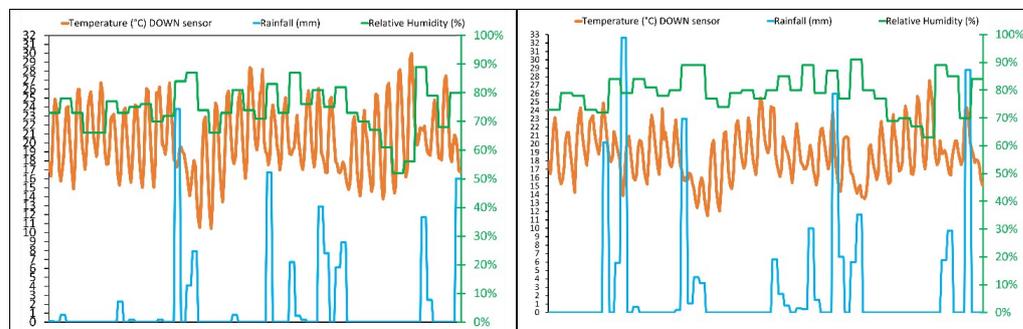


Рис. 6. Сравнение суточного хода температуры, осадков и влажности на участках в Черноречье (слева) и Рошни-Чу (справа) по данным логгеров /

Fig. 6. Comparison of the daily course of temperature, precipitation and humidity at sites in Chernorechye (left) and Roshni-Chu (right) according to loggers

Сравнение суточного хода температуры, осадков и влажности на ключевых участках (рис. 6) показывает, что в Рошни-Чу почти вдвое больше выпадает осадков, влажность здесь выше того количества тепла, которое могло бы быть затрачено на испарение. Под пологом леса наблюдается недостаток света для формирования травянистой растительности. Интенсивность биогеоцикла показывает мортмасса, а именно – опад из листьев и опад (ветки и стволы деревьев). Они формируют подстилку, которая является звеном в депонировании углерода в почву. В ранневесеннем состоянии соотношение подстилки, опада и отпада демонстрирует рисунок 7. В абсолютных величинах количество мортмассы в это время достигает 8,96 т/га (сухой вес), что соответствует почти 4% всего запаса фитомассы в данном ландшафте.

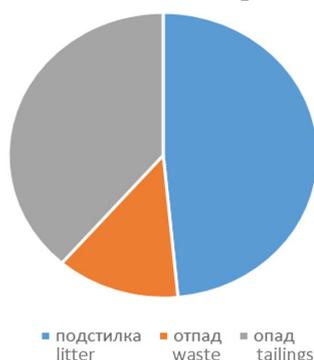


Рис. 7. Соотношение составляющих мортмассы в Рошни-Чу в конце апреля /

Fig. 7. The ratio of components of mortmass in Roshni-Chu at the end of April

В Черноречье, где фитоценозы находятся в стадии сукцессионного восстановления после долговременной антропогенной деятельности, соотношение разных фракций мортмасс, как и зеленой фракции, несколько иное (рис. 8). На открытых участках почти на порядок меньше отпада. В среднем же запасы мортмассы на конец апреля вдвое превышают таковые запасы в Рошни-Чу и составляют почти 10% от общих запасов фитомассы (включая древесную).

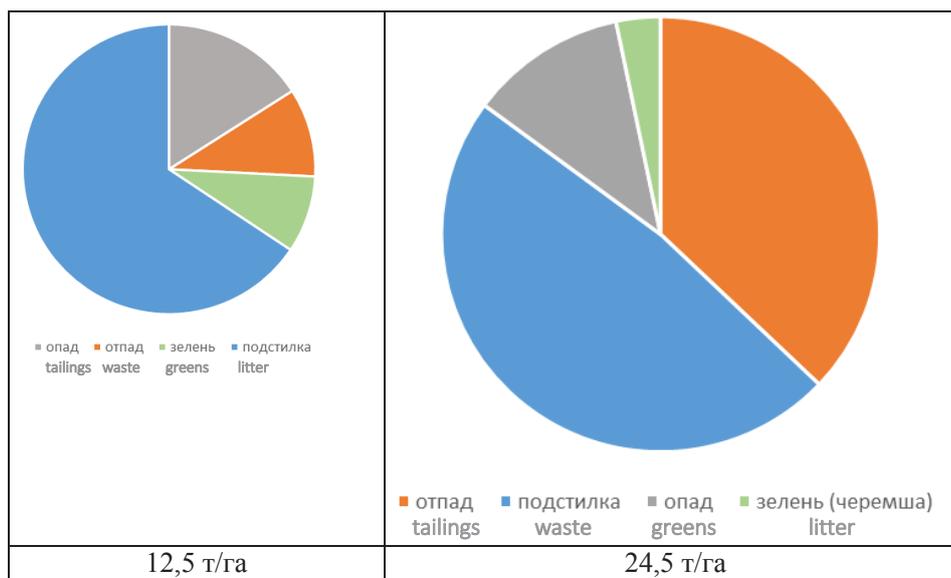


Рис. 8. Соотношение составляющих мортмассы в Черноречье в конце апреля на различных участках: более открытой (слева) и более сомкнутой (лес с черемшой) /

Fig. 8. The ratio of the components of the mortmass in Chernorechie at the end of April in various areas: more open (left) and more closed (forest with wild cherry)

Относительно большая доля фитомассы, которая переходит в мортмассу и далее депонируется в почву, объясняет и значительную мощность подстилки с относительно высоким содержанием гумуса. Последующие замеры мортмассы в начале июня и затем в начале июля показали, что значительная часть оставшегося с зимы опада из листьев перешло в подстилку, которая в свою очередь подверглась процессам гумификации и пополнила верхний горизонт А0-А1. К середине лета мортмасса на участках с незначительным количеством опада уменьшилась почти на половину. В этом случае, соотношение количества мортмассы составило около 3% от зеленой фитомассы. Такие большие скорости поднимают вопросы о том, как происходит разложение мортмасс, а главное – куда поступает углерод. Известно, что в наземной мортмассе углерод быстро уменьшается при переходе из опада в подстилку и далее в почву. Значительная часть углерода выделяется в форме CO_2 [Маркарова и др., 2022]. Уже в подстилке углерода содержится 25-40% [Родин, Базилевич, 1965]. Основная часть мортмассы (93-98%), разлагаясь, минерализуется до CO_2 и возвращается в атмосферу [Ведрова и др., 2018]. Другое важное наблюдение для понимания депонирования углерода заключается в установлении связи показателя соотношения углерода и азота к запасу наземной мортмассы. В случае Черноречья наблюдается относительно низкое соотношение углерода к азоту и довольно высокое количество наземной мортмассы. Пониженная активность почв не способствует росту деревьев (см., например, [Marshall et al., 2019]), депонированию углерода в почву, подавляющее большинство мортмассы разлагается на летучие соединения и газы. Следует предположить, что, повышая активность почв (за счет повышения соотношения углерода к азоту), можно добиться минерализации мортмассы и соответственно – увеличения ее депонирования в почву. Для более детального анализа роли C/N необходимы дополнительные эксперименты.

Выводы

Наблюдения на ключевых участках и расчет разных фракций фитомассы позволили охарактеризовать условия по эмиссионному потенциалу природных комплексов участков карбонового полигона. Количество фитомассы в низкогорных ландшафтах (Рошни-Чу) почти в два раза превышает количество фитомассы на равнине (Черноречье). Это объясняется различными почвенно-климатическими условиями и антропогенной деятельностью. Смена состояний природных комплексов участков карбонового полигона от холодного к теплым периодам и связанная с этим интенсивность тепловлагообмена лежат в основе динамики перехода зеленой фитомассы в мортмассу, а также почву и газы. Переход в мортмассу различается. Заповедование на участке Черноречья ведет к более интенсивному накоплению наземной мортмассы, восстановлению подлеска, более сложно устроенной вертикальной структуры. Однако это не гарантирует депонирования углерода в почвах, большая его часть уходит в атмосферу. По всей видимости, нужны меры для утилизации наземной мортмассы, направленные на депонирование углерода.

Литература

1. Атаев З.В., Братков В.В. Геомассы высокогорных луговых ландшафтов Северо-Западного и Северо-Восточного Кавказа. // Проблемы региональной экологии. – 2009. – № 4. – С. 76-83.
2. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: На-

ука, 1993. – 293 с.

3. Беручашвили Н.Л. Четыре измерения ландшафта. М.: Мысль, 1986. – 182 с.
4. Беручашвили Н.Л. Кавказ: ландшафты, модели, эксперименты. Тбилиси, 1995. – 314 с.
5. Беручашвили Н.Л., Жучкова В.К. Методы комплексных физико-географических исследований. М.: Изд-во МГУ, 1997. – 320 с.
6. Братков В.В., Атаев З.В. Высокогорные луговые ландшафты Северо-Западного и Северо-Восточного Кавказа. Известия Дагестанского государственного педагогического университета. // Естественные и точные науки. – 2009. – № 2 (7). – С. 93-103.
7. Ведрова Э.Ф., Мухортова Л.В., Метелева М.К. Трансформация органического вещества подстилки в лесных культурах. Лесоведение. – 2018. – № 1. – С. 24-36.
8. Гулов Д.М., Онипченко В.Г., Мартыненко В.Б., Федоров Н.И., Логвиненко О.А., Узденов У.Б., Хубиева О.П. Состав надземной фитомассы субальпийского высокоотравья в Тебердинском национальном парке. // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. – 2022. – Т. 127. № 5. – С. 46-53.
9. Гуня А.Н. Ландшафтные основы анализа природных и природно-антропогенных изменений высокогорных территорий. Нальчик, Издательство КБНЦ РАН. – 2010. – 198 с.
10. Гуня А.Н., Гайрабеков У.Т., Махмудова Л.Ш. Изучение ландшафтной структуры для оценки углеродного баланса горных экосистем. // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т.12 (3). – С. 170-181.
11. Дубынина С.С. Пространственно-временная динамика мортмассы в фациях полигон-трансекта территории койбальской степи. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 8. – С. 113-117.
12. Королев В.А., Громовик А.И. К вопросу о расчете содержания гумуса в почвах разного типа. // Вестник ВГУ, серия: химия, биология, фармация. – 2018. – № 2. – С 152-155.
13. Маркарова М.Ю., Махмудова Л.Ш., Керимов И.А., Эльжаев А.С., Мамадиев Н.А. Анализ парниковых газов на нефтезагрязненных территориях и разработка методов их биорекультивации (на примере г. Грозный). // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т.12 (4). – С. 153-168. DOI: 10.46698/VNC.2022.19.77.012
14. Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологического круговорота в основных типах растительности. М. Наука, 1965. – 252 с.
15. Самбыла Ч.Н. Влияние проективного покрытия и высоты травостоя на фитомассу луговых сообществ субальпийского пояса Западного Саяна. // Мир науки, культуры, образования. – 2014. – № 6 (49). – С. 549-552.
16. Abalori T.A., Cao W., Weobong C. A.-A., Wang S., Anning D.K., Sam F.E., Liu W., Wang W. Spatial variability of soil organic carbon fractions and aggregate stability along an elevation gradient in the alpine meadow grasslands of the Qilian Mountains, China. – *Chilean Journal of Agricultural Research*. – 2022 – 82(1). – pp. 52–64. DOI:10.4067/s0718-58392022000100052.
17. Amanuel W., Yimer F. and Karlton E. Soil organic carbon variation in relation to land use changes: the case of Birr watershed, upper Blue Nile River Basin, Ethiopia. // *Journal of Ecology and Environment*. – 2018 –42(1). – pp. 1-11.
18. Hilton R.G., West A.J. Mountains, erosion and the carbon cycle. // *Nature Reviews Earth and Environment*. – 2020 – 1 – pp. 284–299. DOI:10.1038/s43017-020-0058-6.
19. Jakšić, S., Ninkov, J., Milić, S., Vasin, J., Živanov, M., Jakšić, D., Komlen, V. Influence of slope gradient and aspect on soil organic carbon content in the region of Niš, Serbia. // *Sustainability*. – 2021. – 13(15). 8332. DOI:10.3390/su13158332.
20. Malysheva N., Zolina T., Dedova V. Estimation of carbon sequestration by Russian forests: geospatial issue. // *InterCarto. InterGIS*. – 2017. – Vol. 23. – pp. 373–382. DOI:10.24057/2414-9179-2017-1-23-373-382.
21. Marshall L.A., Falk Donald A., Mcdowell Nate G. Nitrogen can limit overstory tree growth following extreme stand density increase in a Ponderosa pine forest. // *Tree-Ring Research*. – 2019 – Vol. 75, Issue 1, pp. 49-60.

References

1. Ataev Z.V., Bratkov V.V. Geomasses of high-altitude meadow landscapes of the North-Western and North-Eastern Caucasus. *Problems of regional ecology*. 2009. No. 4. pp. 76–83. (In Russ.)
2. Bazilevich N.I. *Biological productivity of ecosystems of Northern Eurasia*. M.: Nauka. 1993. 293 p. (In Russ.)
3. Beruchashvili N.L. *Four dimensions of the landscape*. Moscow. Mysl. 1986. 182 p. (In Russ.)
4. Beruchashvili N.L. *Caucasus: landscapes, models, experiments*. Tbilisi. 1995. 314 p. (In Russ.)
5. Beruchashvili N.L., Zhuchkova V.K. *Methods of complex physical and geographical research*. Moscow. MSU. 1997. 320 p. (In Russ.)
6. Bratkov V.V., Ataev Z.V. High-altitude meadow landscapes of the North-Western and North-Eastern Caucasus. *News of Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences*. 2009. No. 2 (7). pp. 93–103. (In Russ.)
7. Vedrova E.F., Mukhortova L.V., Meteleva M.K. Transformation of organic matter of litter in forest crops. *Forestry*, 2018. No. 1. pp. 24–36. (In Russ.)
8. Gulov D.M., Onipchenko V.G., Martynenko V.B., Fedorov N.I., Logvinenko O.A., Uzdinov U.B., Khubieva O.P. Composition of aboveground phytomass of subalpine tallgrass in Teberdinsky National Park. *Bulletin of the Moscow Society of Nature Testers. Department of Biology*. 2022. Vol. 127. No. 5. pp. 46–53. (In Russ.)
9. Gunya A.N. *Landscape fundamentals of the analysis of natural and natural-anthropogenic changes in high-altitude territories*. Kabardin-Balkar scientific center of RAS. Nalchik. 2010. 198 p. (In Russ.)
10. Gunya A.N., Gayrabekov U.T., Makhmudova L.S. Study of landscape structure for assessment of carbon balance of mountain ecosystems. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2022. Vol. 12. No. 3. pp. 170–181. (In Russ.)
11. Dubynina S.S. Spatial-temporal dynamics of mortmass in facies of the polygon-transect of the territory of the Koibal steppe. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2018. No. 8. pp. 113–117. (In Russ.)
12. Korolev V.A., Gromovik A.I. On the issue of calculating the humus content in soils of different types. *Bulletin of VSU, series: chemistry, biology, pharmacy*. 2018. No. 2. pp. 152–155. (In Russ.)
13. Markarova M.Yu., Makhmudova L.Sh., Kerimov I.A., Elzhaev A.S., Mamadiev N.A. Analysis of greenhouse gases in oil-contaminated territories and development of methods of their biorecultivation (on the example of Grozny). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2022. Vol. 12. No 4. pp. 153–168. DOI: 10.46698/VNC.2022.19.77.012. (In Russ.)
14. Rodin L.E., Bazilevich N.I. *Dynamics of organic matter and biological cycle in the main types of vegetation*. Moscow. Nauka. 1965. 252 p. (In Russ.)
15. Sambyla Ch.N. The influence of the projective cover and the height of the herbage on the phytomass of meadow communities of the subalpine belt of the Western Sayan. *The world of science, culture, education*. 2014. No. 6. Issue 49. pp. 549–552. (In Russ.)
16. Abalori T.A., Cao U., Weobong K. A.-A., Wang S., Anning D. K., Sam F.E., Liu U., Wang U. Spatial variability of organic carbon fractions in soil and stability of aggregates along the elevation gradient in alpine meadows in the Qilian Mountains, China. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2022. Vol. 82. No. 1. 52–64. DOI:10.4067/s0718-58392022000100052.
17. Amanuel W., Yimer F. and Karlton E. Changes in the content of organic carbon in soil due to changes in land use: an example of the Birr watershed, the upper reaches of the Blue Nile River basin, Ethiopia. *Journal of Ecology and Environmental Protection*. 2018. Vol. 42. P. 16.
18. Hilton R.G., West A.J. Mountains, erosion and the carbon cycle. *Nature Reviews Earth and Environment*. 2020. Vol. 1. pp. 284–299. DOI: 10.1038/s43017-020-0058-6.

19. Yakshich S., Ninkov J., Milich S., Vasin J., Zhivanov M., Yakshich D., Komlen V. The influence of the slope and type of terrain on the organic carbon content in the soil in the Nis region, Serbia. *Stability*. 2021. Vol. 13. No. 15. 8332. DOI: 10.3390/su13158332.

20. Malysheva N., Zolina T., Dedova V. Assessment of carbon uptake by Russian forests: a geospatial issue. *InterCarto. InterGIS*. 2017. Vol. 23. pp. 373–382. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-373-382 .

21. Marshall L.A., Falk Donald A., McDowell Nate G. Nitrogen can limit the growth of trees in the upper tier after an extreme increase in stand density in the Ponderosa pine forest. *Tree Ring Research*. Vol. 75. Issue 1. pp. 49–60.