

УДК 911.2:504.7

**СЕЗОННАЯ И ПОГОДИЧНАЯ ДИНАМИКА ЗАПАСОВ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ  
КОЙБАЛЬСКОЙ СТЕПИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА****Дубынина С.С.***Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: dubynina@irigs.irk.ru*

Территория исследования – Койбальская степь Южно-Минусинской котловины. На основе многолетних стационарных режимных наблюдений рассмотрена динамика запасов зеленой массы в фациях полигона-трансекта. Койбальская степь относится к енисейским настоящим змеевково-ковыльным и вострецово-ковыльным степям. Для рассматриваемой территории характерными особенностями климата являются: неравномерное выпадение осадков по годам и сезонам и неустойчивость температурного режима. Климатические условия в многолетнем ряду наблюдений значительно отличаются друг от друга чередованием сухих и влажных лет. Для развития природных систем, как показывают результаты климатических наблюдений, очень важно их соотношение и совместное влияние. Выявлены максимальные запасы зеленой массы в многолетнем ряду в фациях ключевого участка. Топохроноизоплетами наглядно показаны флуктуации зеленой массы в многолетнем ряду на полигон-трансекте, где количество зеленой массы по годам меняется в прямой зависимости от погодных условий, от местонахождения и внутренних свойств конкретного сообщества. На фоне климатических данных в течение исследуемого года установлены значительные изменения показателей фитомассы за вегетационный период, с апреля по сентябрь месяц. Установлены аномальные по метеорологическим условиям засушливые годы, которые приводят к уменьшению контрастности показателей запасов зеленой массы в разных условиях фаций. Максимальные запасы для большинства фаций формируются в конце июля и в начале августа. Этот максимум выражен более четко, в наиболее благоприятные годы по количеству тепла и влаги, а также зависит от увлажненности предшествующего года. Показаны значительные изменения величины зеленой массы в фациях на полигон-трансекте за вегетационный период во влажные годы, которые приводят к увеличению показателей фитомассы, по сравнению с сухим периодом наблюдаемых лет.

**Ключевые слова:** степи Минусинской котловины (Койбальская степь), микроклимат, фации, полигон-трансект, продуктивность, запасы зеленой массы

**SEASONAL AND ANNUAL DYNAMICS OF THE GREEN MASS STOCKS  
IN KOIBELSKAYA STEPPE UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS****Dubynina S.S.***Institute of geography V.B. Sochava SB RAS, Irkutsk, e-mail: dubynina@irigs.irk.ru*

The study area is Koybal steppe of Yuzhno-Minusinskaya basin. On the basis of long-term stationary regime observations the dynamics of green mass reserves in polygon-transect facies is considered. Kobalska steppe refers to the Yenisei real slavkovo grass and vostretsovo-civilnim steppes. The characteristic features of the climate for the considered territory are: uneven precipitation by year and season and instability of the temperature regime. Climatic conditions in a long-term series of observations differ significantly from each other by alternation of dry and wet years. For the development of natural systems, as shown by the results of climate observations is very important to their relationship and joint influence. The maximum reserves of green mass in a long-term row in the facies of the key site are revealed. Topographically illustrates fluctuations of herbage in the long row on the polygon-transect, where the number of green mass according to the changes in direct dependence on weather conditions, the location and internal characteristics of a specific community. Against the background of climate data during the year under study, significant changes in phytomass indicators for the growing season, from April to September, were established. The anomalous dry years in weather conditions were established, which lead to a decrease in the contrast of the green mass reserves in different conditions of facies. Maximum amount for most of the facies are formed in late July and early August. this high expressed more clearly, in the most favorable years in the amount of heat and moisture, as well as depends on the moisture of the previous year. Significant changes in the size of the green mass in the facies at the landfill-transect during the growing season in wet years, which lead to an increase in the phytomass, compared with the dry period, observed years, are shown.

**Keywords:** steppes of Minusinsk hollow (Kobalska steppe), climate, facies, polygon-transect, productivity, stocks of green mass

Минусинская котловина – одна из нескольких межгорных впадин, по районированию относится к Южно-Сибирской физико-географической области. Левобережная часть Енисея юга Минусинской котловины известна в литературе как «Койбальская степь» и в административном отношении входит в состав Хакасской автономной области.

В современном рельефе впадины сохранились древние структуры средне-верхнепалеозойского возраста в виде холмисто-

грядовых форм рельефа с абсолютными высотами 300–500 м. При моноклинальном залегании пород они приобретают облик куэстовых гряд, холмисто-увалистых форм, которые обуславливают специфику степей Центральной Азии [1]. Почвенный покров в междуречье Абакана и Енисея представлен обыкновенными и южными черноземами и каштановыми почвами. Настоящие степи котловины создают фон степной растительности, которые развиваются на пла-

корах и склоновых поверхностях. Ведущую роль в сложении сообществ настоящих степей играют дерновинные злаки: ковыль Крылова (*Stipa krylovii*), овсец пустынный (*Helictotrichon desertorum*), типчак (*Festuca valesiaca*), тонконог гребенчатый (*Koeleria cristata*). Рыхлокустовые злаки: змеевка оттопыренная (*Cleistogenes squarrosa*), мятлик оттянутый (*Poa botryoides*). Осоки стоповидная и твердоватая (*Carex pediformis*, с. *duriuscula*). Из полукустарничков – полынь холодная (*Artemisia frigida*), из кустарников – карагана карликовая (*Caragana pygmaea*) [2].

На склонах южной экспозиции верхних частей и гребневидных вершинах сопкок развиты сообщества каменистых степей, образующих группировки настоящих степей. В сложении этих сообществ ведущую роль играют нитрофитные виды: тимьян азиатский (*Thymus asiaticus*), смолевка енисейская (*Silene jenisseensis*). По северным склонам сообщества настоящей степи отличается большая видовая насыщенность: ковыль красноватый (*Stipa rubens*), прострел желтеющий (*Pulsatilla turczaninowii*), подмаренник настоящий (*Galium verum*), скабиоза желтая (*Scabiosa ochroleuca*), володушка козелецелистная (*Bupleurum scorzonerifolium*). Одним из приспособлений степных растений к неблагоприятным экологическим условиям являются виды с розеточной и полурозеточной формой роста, для Койбальской степи составляют до 38%. Например, среди степных растений Забайкалья широко распространена розеточная и полурозеточная форма роста, которая представлена разно-

травьем (виды *Potentilla*, *Chamaerhodos*) и составляет до 80% [3].

Цель работы: выявление основных закономерностей сезонной и погодичной динамики запасов зеленой массы в фациях полигона-трансекта Койбальской степи в условиях современного климата.

#### Материалы и методы исследования

Климат котловины резко континентальный и характеризуется большими годовыми и суточными амплитудами колебаний температуры. Наиболее последовательным и выраженным элементом изменения климата является температура воздуха, при этом важным показателем состояния атмосферы, оказывающим наряду с температурой воздуха влияние на трансформацию растительного покрова, являются осадки. Большая часть осадков приходится на летний период, а наименьшее количество осадков выпадает зимой. В среднем для рассматриваемой территории годовая сумма атмосферных осадков за многолетний период с 2000 по 2017 г., по данным метеостанции «Бея», составляет 469 мм. Максимальное количество осадков 618 мм отмечено в 2003 г., минимальное количество осадков 313 мм в 2011 г. Средняя температура воздуха в январе составляет минус 18–19°, а в июле плюс 19°. Средняя годовая температура воздуха за период наблюдений превысила среднюю многолетнюю годовую величину на 1,6°C, достигнув максимального своего значения 4,3°C в 2007 г. Самая минимальная среднегодовая температура 0,6°C отмечена в 2010 г. (рис. 1).

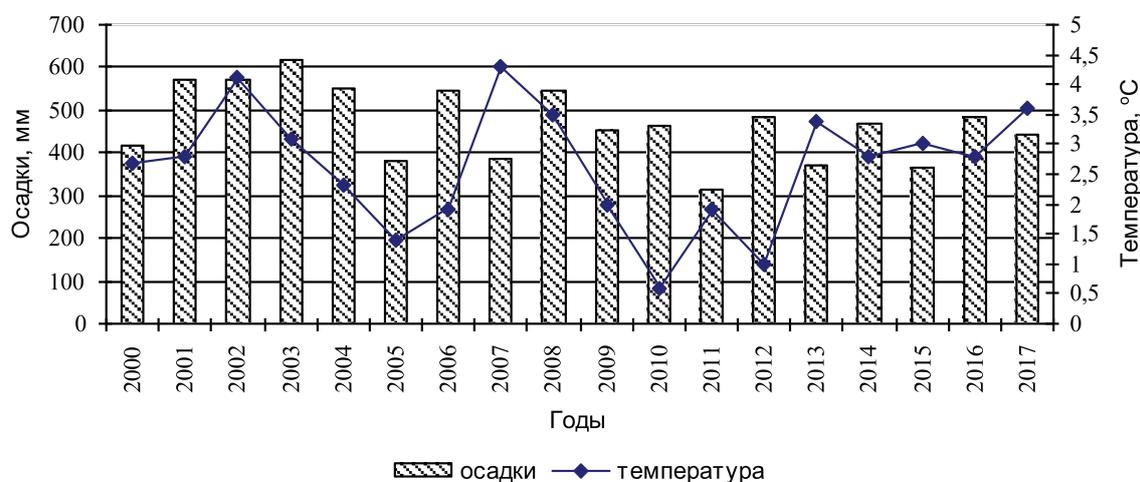


Рис. 1. Годовичная динамика атмосферных осадков и температуры воздуха Койбальской степи (по данным метеостанции «Бея»)

Многолетняя динамика максимальных запасов зеленой массы (г/м<sup>2</sup>) в фациях полигона-трансекта за период 2000–2017 гг. (абсолютно сухой вес)

Годы	Фации полигон-трансекта			
	Мелкодерновинно-злаково-ковыльная с караганой (ф. I)	Петрофитно-разнотравно-ковыльно-типчаковая (ф. II)	Осоково-овсецово-ковыльная с караганой (ф. III)	Разнотравно-осоково-овсецово-ковыльная (ф. IV)
2000	219	178	205	190
2001	183	197	199	183
2002	172	141	134	126
2003	258	305	264	223
2004	275	376	259	142
2005	96	94	102	110
2006	299	178	170	161
2007	230	261	265	113
2008	188	224	145	189
2009	224	253	194	194
2010	261	288	243	242
2011	284	296	288	198
2012	309	304	322	155
2013	182	249	218	182
2014	216	217	365	146
2015	219	160	165	111
2016	190	138	192	119
2017	134	98	109	110

Для оценки биологической продуктивности сообществ используются данные общего количества (запаса) растительного вещества надземной части травостоя (зеленая масса). Определение продуктивности исследуемых экосистем проводилось общепринятыми методами [4, 5]. При определении надземной зеленой массы и выявлении особенностей динамики нарастания надземной массы использовали метод «укосных площадок», для определения надземной массы с точностью ±15% достаточно 3–5 повторностей с площадок по 0,25 м<sup>2</sup>. Образцы зеленой массы, высушенные до абсолютно сухого состояния, взвешивались на электрических весах (ВЛТК-500). Все результаты записывались в «весовую тетрадь». Полученные данные статистически обработаны и использованы для построения «пространственно-временных моделей», как для сезонной, так и многолетней динамики запасов зеленой массы на полигон-трансекте.

Участок стационарных работ – Новониколаевский полигон-трансект, который пересекает несколько пространственно сопряженных фаций с мелкогрядовыми и плоскоравнинными формами рельефа. Основные фации полигона-трансекта

Койбальской степи: ф. I – мелкодерновинно-злаково-ковыльная с караганой степь склона южной экспозиции (т. 7); ф. II – петрофитно-разнотравно-ковыльно-типчаковая степь на вершинной поверхности (т. 15); ф. III – осоково-овсецово-ковыльная с караганой степь на выровненной поверхности (т. 36); ф. IV – разнотравно-осоково-овсецово-ковыльная степь, денудационный склон северной экспозиции (т. 42).

**Результаты исследования и их обсуждение**

Закономерности пространственного распределения максимальных запасов зеленой массы удобнее рассмотреть по элементам рельефа полигона-трансекта. Для выровненных поверхностей (ф. III) с растительным покровом – осоково-овсецово-ковыльным с караганой, за годы наблюдений зеленая масса изменялась от 102 (2005 г., сухой), до 365 г/м<sup>2</sup> (2014 г., влажный) (таблица). Во влажные годы величина зеленой массы увеличивается в 3,5 раза. Для выпуклых вершин (ф. II) с петрофитно-разнотравно-ковыльно-типчаковым сообществом выявлена прямая зависимость надземной массы от количества осадков, которые варьируют от 94 (2005 г., сухой) до 376 г/м<sup>2</sup>

(2004 г., влажный), запасы во влажный год были выше в 4 раза. В растительном покрове южных склонов (Ф. I), где общий фон растительности создают мелкодерновинно-злаково-ковыльные сообщества с караганой карликовой, максимальные запасы зеленой массы составляют от 96 (2005 г.) до 309 г/м<sup>2</sup> (2012 г., влажный). Интересной особенностью природы северных крутых склонов, где поверхности характеризуются горным обликом рельефа, в этих условиях растительные сообщества отличаются большим видовым разнообразием: красочностью аспектов и большой продуктивностью. Величина зеленой массы в разнотравно-осоково-овсецово-ковыльном сообществе (Ф. IV) составила 45% от максимальной. Максимальная величина составляет 242 г/м<sup>2</sup> (2010 г.).

Принимая во внимание средние максимальные показатели (по мере их роста) зеленой массы за все (с 2000 по 2017) годы исследований, изученные фации можно расположить в такой ряд: II > I > III > IV.

На построенных моделях по запасам фитомассы топохроноизоплеты наглядно показывают флуктуации зеленой массы по годам и фациям, при одинаковом поступлении тепла и влаги. Отображение пространственно-временных изменений запасов массы в сопряженном ряду фаций полигона-трансекта представляет собой стационарную модель Койбальской степи (рис. 2).

Стационарные наблюдения в степных фациях показали значительные колебания зеленой массы по годам. Нарастание фитомассы – процесс ритмичный, ежегодно повторяющийся в общих своих чертах. В зависимости от погодной обстановки и внутренних ритмов развития в больших пределах меняется от года к году. Сравним два смежных года (2004 и 2005), видим, что первый характеризуется повышенной величиной запасов зеленой массы во влажный год на ф. II, а второй – пониженной величиной в сухом году на всех фациях (рис. 2). Количественно оценить зависимость запасов зеленой массы от погодных условий довольно затруднительно, ибо травостой по-разному реагирует на условия окружающей среды, т.е. имеет свои особые ритмы развития. Причем каждая фация имеет свои характеристики периодичности в изменении фитомассы и свои амплитуды ее колебаний.

Исследования по определению особенностей формирования надземной фитомассы, ее сезонной и погодичной динами-

ки выявили цикличность – сухие периоды с угнетенным состоянием растений – цикл сухих лет (2002, 2005, 2015 и 2017), сменяющиеся влажными сроками с хорошим травостоем – цикл влажных лет (2003, 2004, 2007 и 2014 гг.). Накопление зеленой массы достигается только в конкретный для нее срок, что подтверждается данными других исследователей в степях Хакасии, Тувы и Монголии [6–8].

Наблюдения за сезонной динамикой зеленой массы показывают четкую ритмичность, не только по месяцам, но и в сопряженном ряду фаций полигона-трансекта (рис. 3, а, б).

Высокая амплитуда колебаний климатических факторов, контрастность погодных условий в течение вегетационного сезона приводит к резким колебаниям фитомассы, тем самым определяя особенности функционирования степных сообществ. Средние за четыре года – период сухих лет (2002, 2005, 2015 и 2017 гг.) показывают, что формирование зеленой массы в течение сезона вегетации полностью зависит от метеорологических условий и в первую очередь от осадков (рис. 3, а). Чрезвычайно низкая величина фитомассы (зелени) от 25 до 50 г/м<sup>2</sup> в апреле, мае месяце при температуре 4,8 °С, высота травостоя в этот период была выражена слабо. Расчленение травостоя на подъярусы не было заметно. Новые побеги плохо росли, из-за малого количества осадков от 23 до 28 мм, в течение этих двух месяцев. Осадки, выпавшие в июне до 70 мм, стимулировали увеличение зеленой массы в июле месяце до 143 г/м<sup>2</sup>. Аномальные по метеоусловиям засушливые годы приводят к уменьшению контрастности показателей запасов зеленой массы в разных условиях рельефа с небольшим увеличением на южном склоне (ф. I). Запасы фитомассы на всех фациях в апреле и мае месяце составляли от 28 до 67 г/м<sup>2</sup>. Максимальная величина однолетней массы травостоя отмечена на (ф. I) в июле (рис. 3, б). Выпавшие в августе осадки стимулировали незначительное отрастание позднелетних видов растений с небольшим увеличением в массе до 115 г/м<sup>2</sup> (ф. I, II), в сентябре происходит уменьшение запасов на всех фациях, а на (ф. IV) составляют всего 85 г/м<sup>2</sup>.

Средние данные за четыре года – период влажных лет (2003, 2004, 2007 и 2014 гг.) показывают, что в формировании зеленой массы прослеживается четкая ритмичность, не только по месяцам, но и в сопряженном ряду фаций полигона-трансекта (рис. 4, а, б).

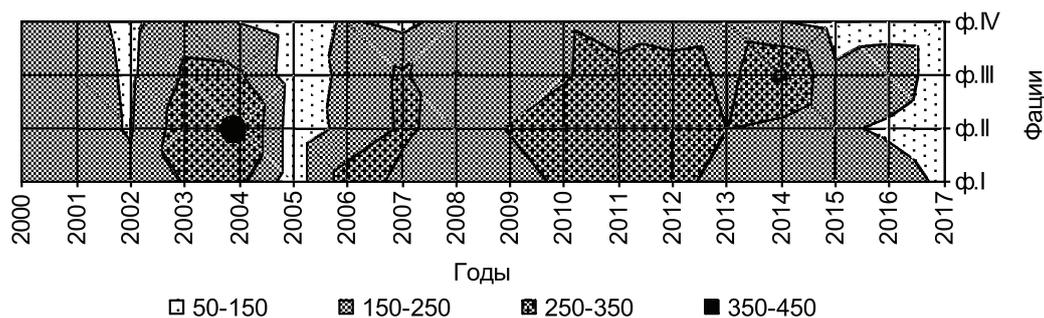


Рис. 2. Пространственно-временная изменчивость запасов зеленой массы на полигон-трансекте Койбальской степи, в многолетнем ряду,  $г/м^2$

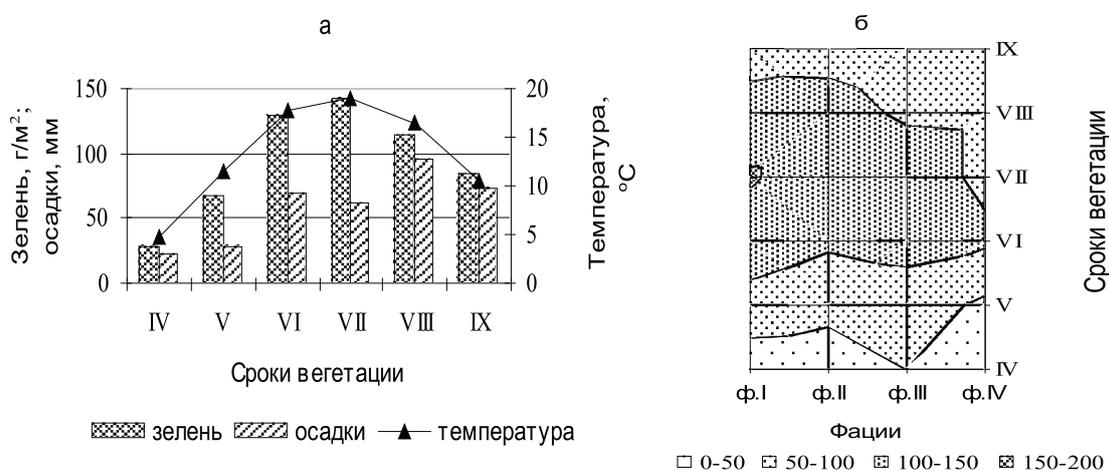


Рис. 3. а) сезонная динамика зеленой массы, осадков и температуры за вегетационный период сухих лет (2002, 2005, 2015 и 2017); б) пространственно-временные колебания зеленой массы за сухой период. Топохроноизоплетами показаны запасы зелени; I – IV – фации

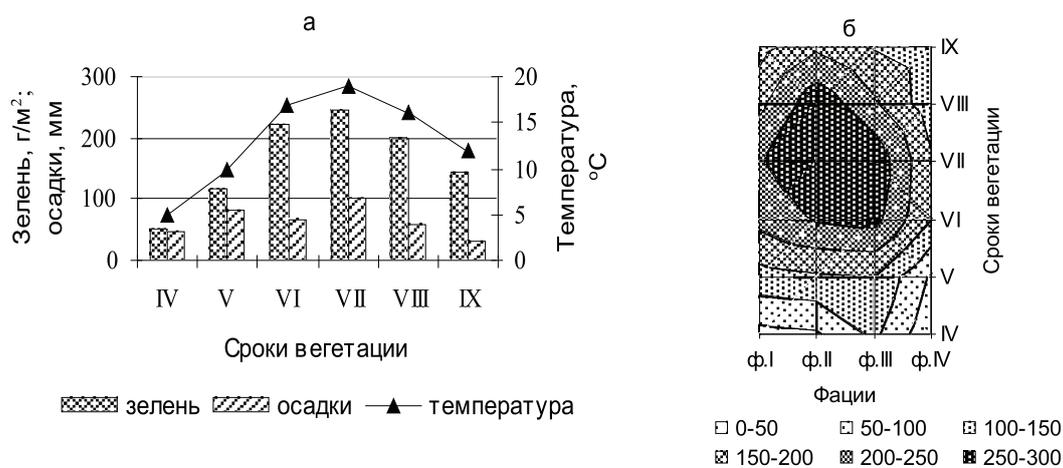


Рис. 4. а) сезонная динамика зеленой массы, осадков и температуры за период влажных лет (2003, 2004, 2007 и 2014 гг.); б) пространственно-временные колебания зеленой массы за период влажных лет. Топохроноизоплетами показаны запасы зелени; I – IV – фации

Нарастание зеленой массы в ранневесенний период (в апреле, мае), выпавшие осадки до 82 мм при температуре до 10°C оказали существенное влияние на формирование растительного покрова. Май месяц был более влажным, чем апрель, и предшествовал накоплению зеленой массы в июне до 221 г/м<sup>2</sup>. В июле месяце (ф. I, II, III) зеленая масса была выше в 2 раза (290 г/м<sup>2</sup>), по сравнению с сухим периодом. Максимальная величина отмечена в конце июля, в начале августа – составила 245 г/м<sup>2</sup>, при температуре в 19°C и осадках 101 мм. Однако в связи с уменьшением количества осадков в августе и сентябре месяце, при устойчиво высоких температурах воздуха и небольших осадках травостой оставался без значительных изменений. Заканчивая свой позднесенний вегетационный период в сентябре, октябре с уменьшением осадков до 32 мм и температуры до 12°C, масса зелени составляет 144 г/м<sup>2</sup> (рис. 4, а). Наблюдения показали, что в годы с повышенным количеством осадков в апреле и мае (48–82 мм) способствуют накоплению фитомассы в июне, июле месяце, хотя количество осадков в этих сроках не увязывается с величиной создаваемой зеленой массы. Небольшие осадки, а зеленая масса высокая. Следовательно, основным прямым фактором оказались осадки за апрель – май.

Пространственно-временные колебания зеленой массы в фациях полигона-трансекта позволяют понять картины утраченного в сухие годы и выявить тенденции развития ее во влажные годы в фациях степных сообществ Койбальской степи (рис. 4, б). Максимальные запасы для большинства фаций формируются в июле, этот максимум выражен более четко, по сравнению с фациями сухого периода. Так средние за четыре года запасы зеленой массы в середине июля составляют от максимального укоса до 80% на ф. I, II и III, исключая ф. IV – разнотравно-осоково-овсецово-ковыльную, склона северной экспозиции с раннелетним ритмом накопления фитомассы (рис. 4, б).

### Выводы

1. Величина запасов зеленой массы Койбальской степи в довольно больших пределах колеблется от года к году. Травостой по-разному реагирует на условия окружающей среды, имеет свои особые ритмы развития. Каждая фация имеет свои характеристики периодичности в изменении зеленой массы и свои амплитуды колебаний.

2. Установлены значительные изменения величины зеленой массы от сезонных и про-

странственно-временных колебаний в разных элементах рельефа полигона-трансекта. Аномальные по метеоусловиям засушливые годы приводят к уменьшению контрастности показателей запасов зеленой массы в разных условиях рельефа с небольшим увеличением на южном склоне (ф. I, рис. 3, б).

3. Выявлены значительные изменения величины зеленой массы в вегетационном периоде и в фациях полигона-трансекта во влажные годы. Максимальные запасы для большинства фаций формируются в июле, этот максимум выражен более четко (ф. II, III, рис. 4, б), зеленая масса была выше в 2 раза, по сравнению с сухим периодом.

### Список литературы

1. Степи Центральной Азии / И.М. Гаджиев, А.Ю. Королюк, А.А. Титлянова [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 299 с.
2. Дубынина С.С. Современное состояние растительного покрова Южно-Минусинской котловины (Койбальская степь) / С.С. Дубынина // Почвы засушливых территорий, их рациональное использование, предотвращение деградации и опустынивания. – Абакан, 2013. – С. 211–216.
3. Мониторинг и прогнозирование вещественно-динамического состояния геосистем Сибирских регионов / Е.Г. Нечаева, И.А. Белозерцева, Е.В. Напрасникова [и др.]. – Новосибирск: Наука, 2010. – 315 с.
4. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах / Н.И. Базилевич, А.А. Титлянова, В.В. Смирнов [и др.]. – М.: Мысль, 1978. – 182 с.
5. Сафронова И.Н. Об использовании некоторых терминов в степеведении / И.Н. Сафронова // Степи Северной Евразии. Материалы VI международного симпозиума. – Оренбург, 2012. – С. 658–660.
6. Кандалова Г.Т. Степные пастбища Хакасии: трансформация, восстановление, перспективы использования / Г.Т. Кандалова. – Новосибирск, 2009. – 163 с.
7. Самбуу А.Д. Стадии пастбищной дигрессии в сухих степях Тувы / А.Д. Самбуу, О.Д. Аюнова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 5–2. – С. 293–295.
8. Казанцева Т.И. Продуктивность зональных растительных сообществ степей и пустынь Гобийской части Монголии / Т.И. Казанцева; отв. ред. Р.В. Камелин. – М.: Наука, 2009. – 336 с.

### References

1. Stepi Central'noj Azii / I.M. Gadzhiev, A.Yu. Korolyuk, A.A. Titlyanova [i dr.]. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2002. – 299 p.
2. Duby'nina S.S. Sovremennoe sostoyanie rastitel'nogo pokrova Yuzhno-Minusinskoj kotloviny' (Kojbal'skaya step') / S.S. Duby'nina // Pochvy' zasushlivy'x territorij, ix racional'noe ispol'zovanie, predotvrashhenie degradacii i opusty'nivaniya. – Abakan, 2013. – P. 211–216.
3. Monitoring i prognozirovanie veshhestvenno-dinamicheskogo sostoyaniya geosistem Sibirskix regionov / E.G. Nechaeva, I.A. Belozerceva, E.V. Naprasnikova [i dr.]. – Novosibirsk: Nauka, 2010. – 315 p.
4. Metody' izucheniya biologicheskogo krugovorota v razlichny'x prirodny'x zonax / N.I. Bazilevich, A.A. Titlyanova, V.V. Smirnov [i dr.]. – M.: My'sl', 1978. – 182 p.
5. Safronova I.N. Ob ispol'zovanii nekotory'x terminov v stepevedenii / I.N. Safronova // Stepi Severnoj Evrazii. Materialy' VI mezhdunarodnogo simpoziuma. – Orenburg, 2012. – P. 658–660.
6. Kandalova G.T. Stepny'e pastbishha Hakasii: transformaciya, vosstanovlenie, perspektivy' ispol'zovaniya / G.T. Kandalova. – Novosibirsk, 2009. – 163 p.
7. Sambuu A.D. Stadii pastbishhnoj digressii v suxix stepyax Tuvy' / A.D. Sambuu, O.D. Ayunova // Mezhdunarodny'j zhurnal prikladny'x i fundamental'ny'x issledovanij. – 2016. – № 5–2. – P. 293–295.
8. Kazanceva T.I. Produktivnost' zonal'ny'x rastitel'ny'x soobshhestv stepej i pusty'n' Gobijskoj chasti Mongolii / T.I. Kazanceva; otv. red. R.V. Kamelin. – M.: Nauka, 2009. – 336 p.