




## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИН ЧИСТОЙ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ В ЕВРАЗИЙСКИХ СТЕПЯХ

© 2023 А. А. Титлянова , С. В. Шибарева , З. В. Варакина 

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: [argenta@issa-siberia.ru](mailto:argenta@issa-siberia.ru)

**Цель работы.** В статье рассмотрено изменение величин надземной (ANP), подземной (BNP) и общей чистой первичной продукции (NPP), выраженных в сухом веществе, в луговых, настоящих и сухих степях вдоль широтного (от 56 до 43° с.ш.) и долготного (от 36 до 116° в.д.) градиента.

**Методология.** Проанализированы продукционные характеристики 32 степей, среди которых 9 луговых, 14 настоящих и 9 сухих степей. Продукционные характеристики получены по единой методике (методом минимальной оценки).

**Основные результаты.** Величина ANP в луговых степях уменьшается с 10,2 до 3,1; в настоящих — от 6,7 до 0,7; в сухих — от 3,7 до 0,6 т/га в год. Величина BNP в луговых степях варьирует от 26,8 до 10,1; в настоящих — от 25,7 до 7,7; в сухих — от 24,8 до 4,9 т/га в год. Изменение кривой значений BNP с запада на восток часто не совпадает с изменением кривой значений ANP: снижение ANP может сопровождаться увеличением BNP.

Рассмотренные три типа степей по величине ANP были разделены по группам: с величиной ANP от 10 до 5; от 5 до 3; от 3 до 1; и менее 1 т/га в год. Первая группа располагается в пространстве от 56 до 51° с.ш. и включает шесть луговых и одну настоящую степь. Во вторую группу входят все три типа степей (три луговых, шесть настоящих и одна сухая степь), ограниченных 56 и 50° с.ш. Третья группа степей, в пределах от 54 до 43° с.ш., состоит из шести настоящих и семи сухих степей. На 50° с.ш. находятся настоящая и сухая степи с наименьшей величиной надземной продукции.

Первая и вторая группы находятся на одной и той же территории (от 56 до 50° с.ш.) и включают как луговые, так и настоящие степи. Около 70% луговых и половина настоящих степей, характеризуются величиной ANP от 6,7 до 3,1 т/га в год. В северной части изученной зоны находятся высокопродуктивные луговые степи, в ее южной части — настоящие степи, как с высокой, так и с низкой продукцией.

Группа степей с продукцией от 3 до 1 т/га в год включает семь низкопродуктивных настоящих и восемь сухих степей. Средняя величина ANP настоящих и сухих степей данной группы совпадает (2,2 т/га в год). Следовательно, пространство от 54 до 43° с.ш. можно считать зоной сухих степей.

**Заключение.** Таким образом, нельзя выделить отдельно зону луговых и зону настоящих степей, а существует степная зона, включающая луговые и настоящие степи. Предложенное деление степей и выделение степной зоны сделано на основании анализа величин ANP, которая является важнейшей характеристикой любой экосистемы.

**Ключевые слова:** надземная продукция; подземная продукция; широтный градиент; долготный градиент; луговые степи; настоящие степи; сухие степи.

**Цитирование:** Титлянова А.А., Шибарева С.В., Варакина З.В. Закономерности изменения величин чистой первичной продукции в евразийских степях // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 2. e210. DOI: [10.31251/pos.v6i2.210](https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.210).

### ВВЕДЕНИЕ

Степная зона в пределах России распространяется от 56 до 43° с.ш. и охватывает пространство от 36 до 116° в.д.

По классификации Е.М. Лавренко с соавторами (1991) выделяют четыре подзональных типа степей, сменяющих друг друга при движении с севера на юг в связи с нарастанием аридности климата:

1. Луговые, богаторазнотравные, степи с полужасушливым климатом;
2. Настоящие, или типичные, разнотравно-дерновиннозлаковые степи с засушливым климатом;
3. Сухие, дерновиннозлаковые (бедноразнотравные) степи с сухим климатом;
4. Опустыненные дерновиннозлаковые степи с очень сухим климатом.

Нарастание аридности климата выражается в уменьшении к югу количества осадков, повышении сумм положительных температур и удлинении вегетационного периода (Лавренко и др., 1991). Предложенная классификация степей широко распространена, в ней учитывается видовой состав, высота и ярусность травостоя, его масса, но не учитывается чистая первичная продукция.

**Чистая первичная продукция (NPP, net primary production)** – это количество органического вещества, созданного травостоем (либо зеленой частью любой экосистемы) за определенный промежуток времени.

Отдельно определяется **надземная первичная продукция (ANP, above-ground net production)** и **подземная первичная продукция (BNP, below-ground net production)**. Продукцию измеряют в единицах массы на единицу площади за определенный период времени, чаще всего за год (Титлянова, Шибарева, 2020).

На ряду с ботанической классификацией разрабатывается классификация по величине чистой первичной продукции (надземной и подземной). Величина чистой первичной продукции является глобальным показателем, поскольку позволяет оценить количественно углеродно-кислородный обмен между атмосферой и почвенно-растительным горизонтом. Ботаническая и продукционная классификация – это классификации, учитывающие разные показатели.

Для создания фитомассы зеленый покров ежегодно потребляет определенное количество двуокси углерода ( $CO_2$ ) и воды, создавая определенное количество NPP. После отмирания зеленых частей растения начинается их минерализация с выделением в атмосферу  $CO_2$  и воды в почву и атмосферу. От соотношения интенсивности продуцирования и минерализации органического вещества изменяется в некоторой степени концентрация  $CO_2$  в атмосфере. В связи с развитием промышленности, железнодорожного и автотранспорта в атмосферу выбрасывается значительное количество  $CO_2$  и других соединений, содержащих углерод, что загрязняет окружающую среду. Оценить, на сколько природные экосистемы могут снизить повышенное из-за выбросов промышленности  $CO_2$  в атмосфере, – главная задача экологической науки на сегодняшний день.

Цель статьи – проанализировать изменение величин надземной первичной продукции (ANP), подземной первичной продукции (BNP) и чистой первичной продукции (NPP) по широтному и долготному градиентам.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленной цели проанализируем (выраженные в сухом веществе) величины ANP, BNP, NPP луговых, настоящих и сухих степей, и их изменение как по широтному, так по долготным градиентам. Рассмотрены продукционные характеристики 32 степей, среди которых 9 луговых, 14 настоящих и 9 сухих степей.

Все величины получены единым методом, а именно путем минимальной оценки чистой первичной продукции. Данный метод неоднократно был изложен ранее (Базилевич и др., 1978; Титлянова, 1977).

Предыдущие исследования показали, что величина ANP зависит как от типа растительности и почвы, так и от метеоусловий местности, где расположена данная степь. При этом величина BNP не подчиняется данным закономерностям (Титлянова и др., 1996; Титлянова, Самбуу, 2016). Характер ее изменения не совпадает с изменением ANP, т. е. с изменением гидротермических и почвенных условий. В связи с этим рассмотрим характер снижения ANP от 10 до 1 т/га в год и ниже.

Ранжирует степи ( $n=32$ ) по величине надземной продукции с выделением следующих групп: 1) степи с величиной ANP от 10 до 5 т/га в год (табл. 1); 2) с величиной ANP от 5 до 3 т/га в год (табл. 2); 3) с величиной ANP от 3 до 1 т/га в год; и 4) с величиной ANP менее 1 т/га в год (табл. 3).

В первую группу входят семь степей: шесть луговых и одна настоящая. Степи данной группы расположены в пространстве от 56 до 51° с.ш. и встречаются от 36 до 93° в.д.

Таблица 1

Степи с величиной надземной первичной продукции (ANP) от 10 до 5 т/га в год

Источник*	Тип степи	Местоположение, координаты	Растительная ассоциация	Почва	ANP	BNP	NPP
1	Луговая	Курская область, 51° с.ш. и 36° в.д.	ковыльно-разнотравно-прямокостровая	чернозем типичный мощный тяжелосуглинистый	10,2	26,8	37,0
2	Луговая	Окско-Донская низменность, 54° с.ш. и 39° в.д.	разнотравно-злаковая	чернозем типичный мощный	8,4	12,0	20,4
1	Луговая	Курская область, 51° с.ш. и 36° в.д.	разнотравно-мятликово-безострокостровая	чернозем типичный тяжелосуглинистый	7,0	19,0	26,0
1	Настоящая	Казахстан, Уральск, 51° с.ш. и 51° в.д.	попынно-злаковая	лугово-каштановая	6,7	23,0	29,7
3	Луговая	Красноярский край, Назарово, 56° с.ш. и 90° в.д.	разнотравно-злаковая	чернозем обыкновенный луговатый мощный	6,6	14,6	21,2
1	Луговая	Новосибирская область, Приобье, склон увала, 54° с.ш. и 73° в.д.	разнотравно-злаковая	лугово-черноземная среднесуглинистая	6,1	18,4	24,5
1	Луговая	Воронежская область, 51° с.ш. и 40° в.д.	злаково-разнотравная	чернозем типичный	5,1	10,1	15,2

Примечание.

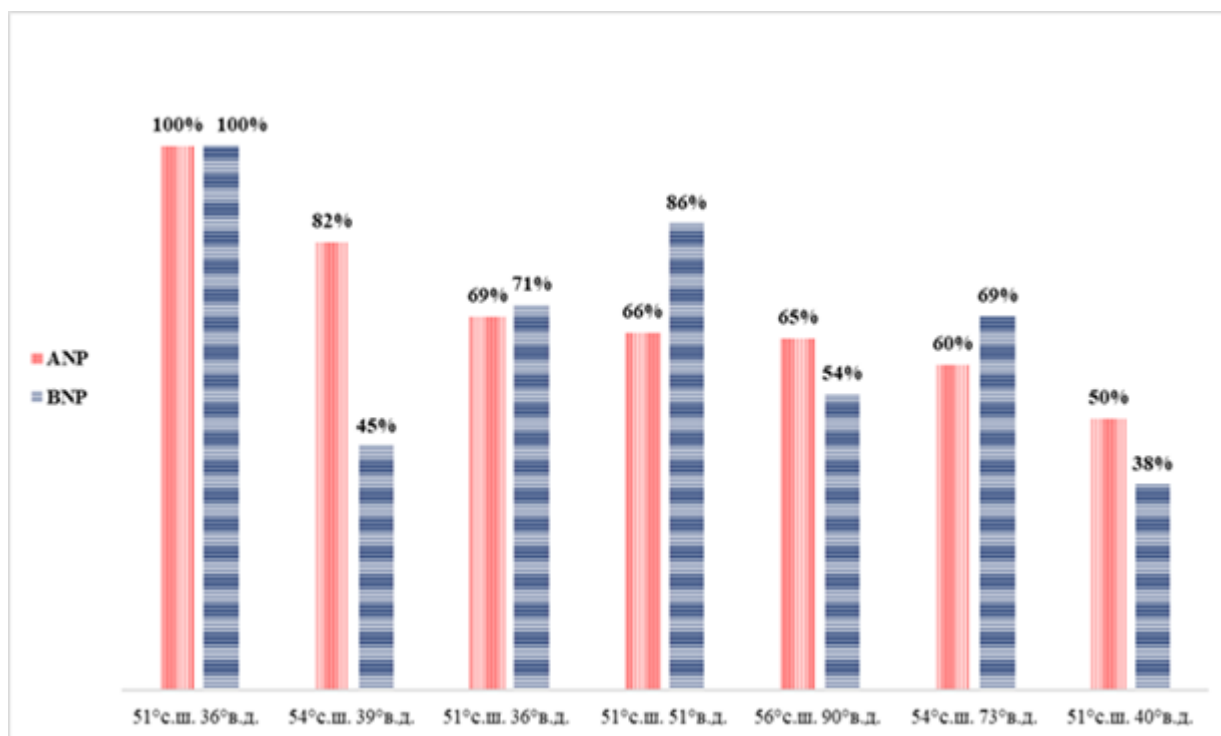
\*Источник: 1 – Титлянова, Шибарева, 2020; 2 – Базилевич, 1993; 3 – Дубынина, 2019.

Наиболее высока продукция луговых степей, расположенных на западе на черноземах мощных и типичных. На той же широте, но восточнее лежат Западно-Казахстанские степи. Надземная продукция настоящих степей, приуроченных к лугово-каштановым почвам (Уральск), достигает 6,7 т/га в год. Значительно восточнее, в Красноярском крае, продукция луговых степей, расположенных на черноземе обыкновенном луговатом мощном, также очень высока. Небольшое снижение продукции (6,1 т/га в год) наблюдается в Приобье (Новосибирская область) в луговых степях, лежащих на склоне увала.

Первые три степи с наиболее высокой продукцией, лежащие на мощных черноземах, получают только атмосферную влагу. Все остальные травостои находятся на почвах, имеющих дополнительное увлажнение за счет стока с вышележащих поверхностей. Климатические условия рассматриваемых степей резко различаются: в Курской области выпадает около 600 мм осадков, и среднегодовая температура достигает 6°С. В Западно-Казахстанской области среднегодовая температура такая же, как в Курской области, но количество осадков в 2 раза меньше. При движении на восток, среднегодовые температуры снижаются, количество осадков колеблется в пределах 460–350 мм.

Как уже указывалось, все степи, лежащие восточнее Курской области, получают малое количество осадков – от 460 до 245 мм. Их фитоценозы отличаются высокой надземной продукцией (5–10 т/га), а почвы – луговатостью, поскольку получают дополнительное увлажнение со стоком из вышележащих геоморфологических позиций. Следовательно, высокая надземная продукция степей (от 10 до 5 т/га в год) может обеспечиваться не только благоприятными почвенными условиями и значительным количеством осадков, но и дополнительным увлажнением. Подземная продукция в данной группе меняется от 26,8 до 10,1 т/га в год (рисунок). Величинами измерения для данного рисунка являются процент от максимального значения величин ANP и BNP, которые приняты равными 100%.

Величина ANP меняется от 100 до 50%, и равномерно падает от большей величины к меньшей. Абсолютно другой ряд изменения наблюдается для величины BNP. Сто процентов BNP совпадает со ста процентами ANP. Однако ход изменения ANP отличен от хода изменения BNP. Если величина ANP равномерно падает от большего значения к меньшему, то в ходе изменения величины BNP наблюдаются резкие незакономерные снижения и повышения. Данные изменения не приурочены ни к климатическим, ни к почвенным условиям.



**Рисунок.** Величины надземной (ANP) и подземной (BNP) первичной продукции, выраженные в % от их максимального значения.

Следующую группу с величиной ANP от 5 до 3 т/га в год представляют 10 степей, из которых три относятся к луговым, шесть – к настоящим и одна к сухим степям (см. табл. 2). Данная группа расположена восточнее, чем предыдущая: от 55 до 116° в.д. В широтно-зональном направлении изученные степи располагаются от 56 до 50° с.ш. Северная граница совпадает со степями предыдущей группы, а нижняя граница лежит на градус южнее.

Изменение продукции трех луговых степей данной группы определяется прежде всего климатическими условиями, меняющимися с запада на восток. Самая продуктивная степь данной группы – луговая (Курганская область, 56 с.ш. и 63° в.д.) – лежит в нижней части склона, ANP достигает 4,8 т/га в год. Степь с надземной продукцией 3,6 т/га в год находится в Барабинской низменности (54 с.ш. и 75° в.д.) на выравненной вершине гривы. Самая восточная степь находится в Забайкалье (50 с.ш. и 116° в.д.) в днище пади, где ANP составляет 3,1 т/га в год. Соответственно положению в пространстве и величине надземной продукции изменяется тип почвы: чернозем выщелоченный – чернозем обыкновенный – лугово-черноземная мерзлотная.

Среди настоящих степей данной группы (см. табл. 2) наиболее продуктивны степные фитоценозы Казахстана (Петропавловская область, 54° с.ш. и 69° в.д.) и Оренбургской области (51° с.ш. и 55° в.д.) со значениями ANP 4,4 и 4,3 т/га в год, соответственно. Одна степь лежит западнее и южнее (Оренбургская область), что отражается в свойствах почвы: здесь сформировался чернозем южный неполноразвитый карбонатный. Вторая степь (Казахстан) расположена севернее и восточнее, почва – чернозем обыкновенный. Данные степи получают одинаковое количество осадков, но различны по температурным условиям: среднегодовая температура в Оренбургской обл. составляет 4,5°С, в Казахстане – 1,5°С. В более теплых условиях при недостаточном количестве осадков формируется чернозем южный неполноразвитый карбонатный. В Казахстане, в более холодных условиях, образуется чернозем обыкновенный. Вероятно, разница в формировании почв определяется их позицией на катене: в первом случае чернозем образуется в элювиальной позиции; во втором случае – в транзитной. Экосистемы, различные по климатическим, почвенным и гидрологическим условиям могут иметь, как и показано выше, одну и ту же величину надземной продукции, что, скорее всего, связано с наличием доступной влаги в почве.

Таблица 2

Степи с величиной надземной первичной продукции (ANP) от 5 до 3 т/га в год

Источник*	Тип степи	Местоположение, координаты	Растительная ассоциация	Почва	ANP	BNP	NPP
1	Луговая	Зауралье, Курганская область, Шадринский район, 56° с.ш. и 63° в.д.	злаково-разнотравная	чернозем выщелоченный	4,8	15,2	20,0
1	Настоящая	Казахстан, Петропавловская область, 54° с.ш. и 69° в.д.	разнотравно-ковыльная	чернозем обыкновенный	4,4	25,7	30,1
1	Настоящая	Оренбургская область, 51° с.ш. и 55° в.д.	леймусово-ковыльно-разнотравная	чернозем южный неполно-развитый карбонатный	4,3	22,5	26,8
1	Настоящая	Казахстан, Шортанды, 52° с.ш. и 70° в.д.	разнотравно-ковыльно-типчачковая	черноземно-луговая	3,8	23,1	26,9
2	Сухая	Тыва, днище пади, 51° с.ш. и 91° в.д.	разнотравно-ковыльная	каштановая среднемошная суглинистая	3,7	24,8	28,5
1	Настоящая	Хакасия, Шушенское, 53° с.ш. и 91° в.д.	осоково-овсецово-тырсовая	чернозем южный солонцеватый	3,6	11,6	15,2
1	Луговая	Новосибирская обл., Карачи, вершина гривы, 54° с.ш. и 75° в.д.	разнотравно-бобово-злаковая	чернозем обыкновенный	3,6	18,3	21,9
1	Настоящая	Казахстан, Шортанды 52° с.ш. и 70° в.д.	типчачково-ковыльковая	чернозем южный карбонатный	3,5	19,9	23,4
1	Настоящая	Оренбургская область, 51° с.ш. и 55° в.д.	злаково-разнотравная	темно-каштановая солонцеватая карбонатная легкосуглинистая	3,3	13,5	16,8
3	Луговая	Забайкалье, Харанор, днище пади, 50° с.ш. и 116° в.д.	осоково-вострцово-разнотравная	лугово-черноземная мерзлотная бескарбонатная мощная	3,1	20,8	23,9

Примечание.

\*Источник: 1 – Титлянова, Шибарева, 2020; 2 – Титлянова и др., 2020; 3 – Снытко и др., 1988.

Уменьшение продукции с 4 до 3 т/га в год обусловлено изменением климатических и почвенных условий. Степь в Казахстане (Шортанды) с продукцией 3,8 т/га в год лежит на лугово-черноземной почве, образующейся в нижней части элювиальной позиции. Уменьшение ANP в Хакасии до 3,6 т/га в год связано с более сухой и солонцеватой почвой (чернозем южный солонцеватый). Близкая величина ANP (3,5 т/га в год) получена для степи, лежащей в средней части элювиальной позиции катены в Казахстане (Шортанды), где почва – чернозем южный карбонатный. Уменьшение ANP в Оренбургской обл. до 3,3 т/га в год определяется свойствами почвы (темно-каштановая солонцеватая карбонатная).

Как показано выше, величина ANP зависит не только от местных климатических условий и свойств почвы, но и от положения экосистемы в рельефе. В данной группе величина ANP настоящих степей максимальна для фитоценоза, приуроченного к чернозему обыкновенному; минимальна – для фитоценоза на темно-каштановой солонцеватой карбонатной почве.

В эту группу входит одна сухая степь Тывы, находящаяся в днище пади (51° с.ш. и 91° в.д.) Как величина продукции (3,7 т/га в год), так и свойства почвы (каштановая среднемошная суглинистая), указывает на то, что экосистема получает добавочное к осадкам количество влаги, стекающей с возвышенных элементов рельефа.

В группе степей, имеющей надземную продукцию от 5 до 3 т/га в год, подземная продукция варьирует от 25,7 до 11,6 т/га в год, составляя в среднем 19,5 т/га в год. Средняя величина ANP

данной группы – 3,8 т/га в год. Выявляется удивительная ситуация: по сравнению с первой группой (7,2 т/га в год), во второй группе средняя величина ANP уменьшается почти в 2 раза, а средняя величина BNP больше на 10%. При этом внутри ряда можно выделить две группы фитоценозов с продукцией от 25,7 до 18,3 и от 15,2 до 11,6 т/га в год. В группу экосистем с высокой подземной продукцией входят две луговых, четыре настоящих и одна сухая степь. Две луговых степи расположены восточнее 75° в.д. Настоящие степи расположены намного западнее (от 55 до 70° в.д.). В этом же ряду величин BNP находится одна сухая степь, расположенная в Тыве, в днище пади. Группа с низкой величиной BNP включает одну луговую и две настоящие степи. Степи находятся в диапазоне долгот от 55 до 91° в.д. Луговая степь лежит на северной границе распространения степей (56° с.ш.). Степи с BNP 11,6 и 13,5 т/га в год приурочены к солонцеватым почвам.

Следующая группа травяных фитоценозов с ANP от 3 до 1 т/га в год состоит из настоящих и сухих степей (см. табл. 3). Территория, занимаемая данной группой, ограничена широтами от 54 до 43° с.ш. По долготному градиенту они расположены от 44 до 116° в.д.

Настоящие степи данной группы лежат в пределах 54–50° с.ш. и 59–116° в.д. на почвах с неблагоприятными свойствами: солонец лугово-степной стреднестолбчатый, чернозем мучнисто-карбонатный солонцеватый, чернозем карбонатный, темно-каштановая каменистая, чернозем мучнисто-карбонатный маломощный, чернозем малогумусный с укороченным профилем.

Сухие степи лежат в диапазоне широт от 43 до 52° с.ш. и долгот от 44 до 95° в.д. и находятся в крайне разнообразных климатических условиях. Так, количество осадков в сухих степях Дагестана и Тывы одинаково, а среднегодовое количество осадков на Алтае почти в 2 раза меньше. Вегетационный период (т. е. количество дней с температурой выше 5° С) в Дагестане составляет 214 дней, в Тыве и на Алтае – 150). Средняя температура июля в Дагестане – 24° С, в Тыве – 17,5° С, на Алтае – всего 13° С.

Разница в климатических условиях определяет различие в видовом составе растений в исследованных регионах. Так, в сухих степях Дагестана главными доминантами являются: ковыль волосовидный (*Stipa capillata*), тонконог гребенчатый (*Koeleria cristata*), полынь крымская (*Artemisia taurica*); в сухих степях Алтая: ковыль Крылова (*Stipa krylovii*), тонконог алтайский (*Koeleria altaica*), полынь сантолинолистная (*Artemisia santolinifolia*); в сухих степях Тывы: ковыль Крылова (*Stipa krylovii*), тонконог гребенчатый (*Koeleria cristata*), полынь холодная (*Artemisia frigida*). Среди доминантов трех анализируемых степей нет ни одного общего вида: есть виды, характерные для двух местообитаний, и не характерны для третьего; есть виды, различные для всех трех местообитаний. Таким образом, видовой состав доминантов сухих степей Дагестана, Алтая и Тывы отличается. И эти отличия в определенной мере влияют на величину продукции анализируемых степей.

Настоящие степи данной группы характеризуются величиной надземной продукции от 2,8 до 1,1 т/га в год; сухие – от 3,0 до 1,8 т/га в год. Следовательно, в данной группе различие в величинах надземной продукции между настоящими и сухими степями не прослеживается. Средняя величина ANP для данной группы – 2,1 т/га в год.

Подземная продукция исследованных степей меняется от 20,2 до 4,9 т/га в год, составляя в среднем 12,7 т/га в год. В группу степей с величиной BNP от 20,2 до 12,0 т/га в год входят все настоящие степи и одна сухая степь Казахстана. Группа степей с величиной ниже 12,0 т/га в год представлена только сухими степями.

Травяные фитоценозы с продукцией менее 1 т/га в год встречаются редко: либо на обезвоженных территориях (настоящая степь Забайкалья, вершина сопки: 0,7 т/га в год), либо при очень сильном выпасе (сухая степь Тывы, Эрзин: 0,6 т/га в год). Степь Забайкалья расположена на вершине сопки, что приводит к низкому содержанию почвенной влаги в связи с ее стоком в нижележащие позиции. Данная степь имеет величину BNP 7,7 т/га в год. Сухая степь Тывы, находящаяся под сильным выпасом, характеризуется величиной BNP равной 6,2 т/га в год (см. табл.3).

Таблица 3

Степи с величиной надземной первичной продукции (ANP) от 3 до 1 т и менее 1 т/га в год

Источник*	Тип степи	Местоположение, координаты	Растительная ассоциация	Почва	ANP	BNP	NPP
1	Сухая	Дагестан, Терско-Сулакская низменность, 43° с.ш. и 46° в.д.	разнотравно-полынно-злаковая	каштановая среднесуглинистая маломощная	3,0	10,6	13,6
2	Настоящая	Новосибирская область, Карачи, вершина гривы, 54° с.ш. и 75° в.д.	разнотравно-пырейно-типчаковая	солонец лугово-степной среднестолбчатый	2,8	20,2	23,0
1	Сухая	Саратовская область, 51° с.ш. и 46° в.д.	типчаково-ковыльная	каштановая	2,8	4,9	7,7
3	Настоящая	Забайкалье, Харанор, нижняя часть склона сопки, 50° с.ш. и 116° в.д.	тырсово-разнотравно-вострцовая	чернозем мучнисто-карбонатный солонцеватый	2,5	17,5	20,0
1	Настоящая	Казахстан, Шортанды, 52° с.ш. и 70° в.д.	разнотравно-ковыльная	чернозем карбонатный	2,3	15,9	18,2
1	Сухая	Алтайский край, 52° с.ш. и 82° в.д.	полынно-разнотравно-злаковая	каштановая	2,3	5,2	7,5
1	Настоящая	Челябинская область, 52° с.ш. и 59° в.д.	овсецово-ковыльно-разнотравная	темно-каштановая каменистая	2,2	16,0	18,2
1	Сухая	Тыва, Ончаалан, 50° с.ш. и 95° в.д.	змеевко-полынно-ковыльная	каштановая щебнисто-песчаная	2,2	12,0	14,2
1	Сухая	Калмыцкая АССР 46° с.ш., 44° в.д.	овсянницево-ковыльная	каштановая	1,9	9,4	11,3
1	Сухая	Казахстан, Кургальджинский район, 50° с.ш. и 70° в.д.	типчаково-ковыльковая	каштановая	1,8	14,0	15,8
3	Настоящая	Забайкалье, Харанор, средняя часть склона сопки, 50° с.ш. и 116° в.д.	разнотравно-пижмовая	чернозем мучнисто-карбонатный маломощный	1,5	14,4	15,9
4	Сухая	Монголия, 43° с.ш. и 97° в.д.	караганово-злаковая	каштановая	1,3	–	–
5	Настоящая	Западное Забайкалье, днище Тугнуйской котловины, 51° с.ш. и 107° в.д.	злаково-разнотравная	чернозем малогумусный с укороченным профилем	1,1	12,3	13,4
<b>менее 1 т/га в год**</b>							
3	Настоящая	Забайкалье, Харанор, вершина сопки 50° с.ш. 116° в.д.	типчаково-хамедоросовая	чернозем бескарбонатный слаборазвитый	0,7	7,7	8,4
1	Сухая	Тыва, Эрзин 50° с.ш. 95° в.д.	змеевко-полынно-ковыльная	каштановая суглинистая	0,6	6,2	6,8

Примечание.

\*Источник: 1 – Титлянова, Шибарева, 2020; 2 – Вагина и др., 1976; 3 – Снытко и др., 1988; 4 – Банникова и др., 1986; 5 – Чимитдоржиева и др., 2012. Прочерк – данные отсутствуют.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Степная полоса в Северной Евразии от луговых до опустыненных степей занимает основную часть территории, расположенной между 56 и 43° с.ш. и 36 и 116° в.д.

В настоящее время большинство черноземов, а также каштановых почв, находящихся в благоприятных климатических условиях, почти полностью распашаны. В степной полосе остались лишь отдельные островки луговых и настоящих степей, и довольно узкая полоса сухих степей на юге страны. Часть сельскохозяйственных угодий в 90-е годы прошлого столетия были заброшены, и степи с их травостоем и почвами медленно восстанавливались (Титлянова, Шибарева, 2022). Как оставшиеся заповедные, так и восстановившиеся участки степей позволяют оценить величину чистой первичной продукции травяных экосистем, ранее распашанных.

Напомним, что чистая первичная продукция – это то количество фитомассы, которая создана фитоценозом за весь вегетационный период в надземной и подземной сферах сообщества.

Как уже указывалось выше, по составу растительности можно выделить четыре полосы степей, расположенных с севера на юг: луговые, настоящие, сухие и опустыненные (в данной статье опустыненные степи мы не рассматривали) (Лавренко и др., 1991).

Обычно считают, что луговые степи наиболее продуктивны; расположенные южнее настоящие степи имеют меньшую надземную продукцию; и самая низкая надземная продукция характерна для сухих степей (Базилевич, 1993). Однако приведенная схема далеко не полностью соответствует действительности.

На самом деле не существует такой полосы, в которой бы присутствовали степи одного типа с определенной величиной продукции.

Обобщенные результаты распространения степей с определенной величиной надземной продукции, представлены в таблице 4.

Таблица 4

Классификация степей по величине надземной первичной продукции (АНП), т/га в год

Широты	Величина АНП, т/га в год	Количество степей		
		луговые	настоящие	сухие
56–51° с.ш.	10–5	6	1	0
56–50° с.ш.	5–3	3	6	1
54–43° с.ш.	3–1	0	6	7
50° с.ш.	< 1	0	1	1

Степи с АНП менее 5 т/га в год представлены в основном луговыми степями. Зона луговых степей с высокой продукцией лежит в пределах от 56 до 51° с.ш. и не включает сухие степи (см. табл. 4). Степи данной группы лежат либо на черноземах (типичных мощных, типичных тяжелосуглинистых, типичных); либо на почвах с дополнительным увлажнением (чернозем обыкновенный луговатый мощный, лугово-черноземная среднесуглинистая). Настоящая степь приурочена к лугово-каштановой почве. Следовательно, степи с высокой продукцией лежат либо на мощных и типичных черноземах, либо на почвах с дополнительным увлажнением (см. табл. 1).

Степи с АНП более 5 т/га в год, представлены в основном луговыми степями. Зона луговых степей с высокой продукцией лежит в пределах от 56 до 51° с.ш. и не включает сухие степи (см. табл. 4). Степи данной группы лежат либо на черноземах (типичных мощных, типичных тяжелосуглинистых, типичных), либо на почвах с дополнительным увлажнением (чернозем обыкновенный луговатый мощный, лугово-черноземная среднесуглинистая). Настоящая степь приурочена к лугово-каштановой почве. Следовательно, степи с высокой продукцией лежат либо на мощных и типичных черноземах, либо на почвах с дополнительным увлажнением (см. табл. 1).

В группу степей с продукцией от 5 до 3 т/га в год входят все три типа степей – три луговых, шесть настоящих и одна сухая. Данные степные фитоценозы расположены от 56 до 50° с.ш. Северная граница совпадает со степями предыдущей группы, а нижняя граница лежит на градус южнее. Три луговых степи приурочены к совершенно различным почвам: к выщелоченному чернозему, бедному питательными элементами; к чернозему обыкновенному, лежащему на вершине гривы, т. е. теряющему воду; к лугово-черноземной мерзлотной (см. табл. 2). Понижение продукции луговых степей, по сравнению с луговыми степями предыдущей группы, связано с ухудшением почвенных и гидрологических условий.

Настоящие степи лежат на черноземах – обыкновенном, южном неполноразвитом карбонатном, южном солонцеватом, южном карбонатном; а также на черноземно-луговой и темно-каштановой солонцеватой карбонатной почвах. Низкая величина надземной продукции данной группы (3,3–3,6 т/га в год) определяется неблагоприятными почвенными условиями.



В данную группу степей входит сухая степь с продукцией 3,7 т/га в год, лежащая на каштановой среднемощной суглинистой почве (см. табл. 2). Степь Тывы расположена в днище пади и получает дополнительное увлажнение за счет стока с вышележащих поверхностей.

В группу с величиной продукции от 3 до 1 т/га в год входят шесть настоящих и семь сухих степей. Территория, занимаемая данной группой, ограничена широтами от 54 до 43° с.ш. Настоящие степи этой группы характеризуются средней величиной надземной продукции 2,1 т/га в год и приурочены к почвам с неблагоприятными условиями – карбонатным, каменистым, солонцеватым и солонцам. Сухие степи имеют практически такую же среднюю величину ANP – 2,2 т/га в год и лежат на каштановых почвах разного свойства (см. табл. 3).

На 50° с.ш. находятся настоящая и сухая степи с наименьшей величиной надземной продукции. Настоящая степь расположена на вершине сопки, что приводит к низкому содержанию почвенной влаги в связи с ее стоком в нижележащие позиции. Сухая степь испытывает сверхсильную пастбищную нагрузку.

Весь приведенный материал показывает, что не существует зон отдельно луговых, отдельно настоящих, отдельно сухих степей. Луговые и настоящие степи расположены в диапазоне от 56 до 50° с.ш. Наиболее высокая продукция (более 5 т/га в год) луговых степей связана с благоприятными климатическими и почвенными условиями. Группу луговых и настоящих степей с продукцией от 5 до 3 т/га в год составляют луговые степи с неблагоприятными свойствами почв, и настоящие степи, лежащие на разных почвах от чернозема обыкновенного до темно-каштановой солонцеватой карбонатной. Область в границах от 56 до 50° с.ш. и от 36 до 116° в.д. можно считать типично степной, которая включает все луговые, а также большинство настоящих степей, продуцирующих от 5 до 3 т/га надземного сухого вещества в год.

Степное пространство от 54 до 43° с.ш. включает настоящие и сухие степи с величиной надземной продукции в среднем 2,2 т/га в год. Почвы под настоящими степями неблагоприятны для жизни и роста растений. Они относятся к карбонатным, каменистым, солонцеватым и солонцам. Сухие степи лежат на каштановых почвах разного свойства.

Зона степей в границах от 54 до 43° с.ш. и от 46 до 116° в.д. является, по существу, сухостепной.

Итак, в результате анализа величин надземной продукции степей и подстилающих их почв, мы выделяем две зоны: степную и сухостепную. В первую зону входят луговые и настоящие степи; во вторую – настоящие, с низкой величиной ANP от 2,8 до 1,1 т/га в год, и сухие с величиной ANP от 3,0 до 1,3 т/га в год.

## ВЫВОДЫ

1. Надземная первичная продукция (ANP) луговых степей составляет в среднем 6,1; настоящих степей – 3,0; сухих – 2,2 т/га в год. Все три типа степей отличаются по величине ANP.

2. Чистая первичная продукция (NPP) луговых степей составляет 23,3; настоящих – 19,1; сухих – 13,1 т/га в год. При этом NPP луговых степей превышает NPP настоящих на 20%, а сухих степей – на 44%. Таким образом, величина ANP луговых степей в 2 раза выше ANP настоящих степей, и в 3 раза – сухих.

3. По величине ANP степи резко различаются. По величине NPP луговые и настоящие степи близки, сухая степь резко отлична от луговой и настоящей.

4. Около половины луговых и настоящих степей характеризуются одной и той же величиной ANP (от 6,7 до 3,1 т/га в год), и зону луговых степей по величине ANP не выделяется. Можно выделить зону луговых и настоящих степей, которая лежит между 56 и 50° с.ш.

5. В группе степей с надземной первичной продукцией от 3 до 1 т/га в год по величине ANP настоящие и сухие степи не отличаются (среднее значение – 2,2 т/га в год). Принимая во внимание одинаковые величины ANP настоящих и сухих степей, можно назвать территорию между 54 и 43° с.ш. зоной сухих степей.

6. Важнейшей величиной работы фитоценоза является отношение подземной первичной продукции (BNP) к надземной (ANP): это отношение показывает, сколько тонн прироста подземных органов обеспечивает прирост одной тонны зеленой фитомассы (в сухом весе) за год. Средние величины данного отношения составляют для группы степей с величиной ANP от 10 до 5 т/га в год – 2,5; для группы степей с величиной ANP от 5 до 3 т/га в год – 5,1; и для группы степей с величиной ANP от 3 до 1 т/га в год – 6. Следовательно, чем жестче условия существования фитоценоза (недостаток влаги, высокие летние температуры), тем большую долю фотосинтетата

растения посылают в подземные органы: при высокой температуре окружающей среды только усиленный рост корней может обеспечить зеленую фитомассу необходимым количеством влаги. Перестройка распределения фотосинтетатов между зеленой фитомассой и корнями обеспечивается сменой видового состава сообщества от луговых степей к сухим, т.е. мезофиты сменяются ксерофитами, более приспособленными к жарким и сухим условиям жизни.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разделение степей на луговые, настоящие и сухие было сделано по видовому составу фитоценозов. По параметрам, включающим величину ANP и свойства почвы, можно выделить всего две группы: степи (луговые + настоящие) и сухие степи.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. Москва: Наука, 1993. 293 с.
- Базилевич Н.И., Титлянова А.А., Смирнов В.В., Родин Л.Е., Нечаева Н.Т., Левин Ф.И. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. Москва: Мысль, 1978. 184 с.
- Банникова И.А., Суховерко Р.В., Баясгалан Д. // Степи Восточного Хангая. Москва: Наука, 1986. С. 126–143.
- Вагина Т.А., Шатохина Н.Г. Динамика запасов надземной и подземной органической массы степных, луговых и болотных фитоценозов // Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. Том 2. Биогеоэкологические процессы. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1976. С. 217–264.
- Дубынина С.С. Чистая первичная продукция растительного вещества фаций Березовского участка Назаровской котловины // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 11. С. 9–14. DOI: [10.17513/mjpf.12923](https://doi.org/10.17513/mjpf.12923).
- Лавренко Е.М., Карамышева З.В., Никулина Р.И. Степи Евразии. Ленинград: Наука, 1991. 146 с.
- Снытко В.А., Нефедьева Л.Г. Настоящие степи Забайкалья, Читинская область // Биологическая продуктивность травяных экосистем. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1988. С. 49–58.
- Титлянова А.А. Биологический круговорот углерода в травяных биогеоценозах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 219 с.
- Титлянова А.А., Косых Н.П., Курбатская С.С., Кыргыз Ч.С., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П., Самбуу А.Д., Шибарева С.В. Продуктивность травяных экосистем Тувы // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3. № 2. С. e110. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v3i2.110>.
- Титлянова А.А., Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П. Подземные органы растений в травяных экосистемах. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1996. 128 с.
- Титлянова А.А., Самбуу А.Д. Сукцессии в травяных экосистемах. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2016. 191 с.
- Титлянова А.А., Шибарева С.В. Продуктивность травяных экосистем (Справочник). Москва: Издательство МБА, 2020. 100 с.
- Титлянова А.А., Шибарева С.В. Изменение чистой первичной продукции и восстановление запасов углерода в почвах залежей // Почвоведение. 2022. № 4. С. 500–510. DOI: [10.31857/S0032180X2204013X](https://doi.org/10.31857/S0032180X2204013X).
- Чимитдоржиева Э.О., Чимитдоржиева Г.Д., Давыдова Т.В., Цыбенков Ю.Б. Чистая первичная продукция постагрогенных почв Западного Забайкалья // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. 2012. № 4. С. 28–31.

*Поступила в редакцию 29.07.2023*

*Принята 18.09.2023*

*Опубликована 27.09.2023*

#### Сведения об авторах:

**Титлянова Аргента Антониновна** – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории биогеоэкологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); [argenta@issa-siberia.ru](mailto:argenta@issa-siberia.ru)

**Шибарева Светлана Васильевна** – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия).




**Варакина Зоя Вадимовна** – техник-лаборант лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); [varakina@issa-siberia.ru](mailto:varakina@issa-siberia.ru)

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## PATTERNS OF NET PRIMARY PRODUCTION CHANGES IN EURASIAN STEPPES

© 2023 A. A. Titlyanova  **S. V. Shibareva** , **Z. V. Varakina** 

*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentieva 8/2, Novosibirsk, Russia. E-mail: [argenta@issa-siberia.ru](mailto:argenta@issa-siberia.ru)*

**The aim of the study.** *The aim of the study was to analyze changes in the above-ground (ANP), below-ground (BNP) and total net primary production (NPP), expressed in dry matter, in meadow, true and dry steppes along the latitudinal (from 56° to 43° N) and longitudinal (from 36° to 116° E) gradients.*

**Methodology.** *Production characteristics of 32 steppes (9 meadow, 14 true and 9 dry steppes), obtained by the same method of minimal estimate, were analyzed.*

**Main results.** *The ANP value in meadow steppes decreases from 10,2 to 3,1 t/ha per year, in true steppes from 6,7 to 0,7 t/ha per year and in dry steppes from 3,7 to 0,6 t/ha per year. The value of BNP in meadow steppes varies from 26,8 to 10,1 t/ha per year; in true steppes - from 25.7 to 7.7 t/ha per year; and in dry steppes - from 24,8 to 4,9 t/ha per year. The BNP changes from West to East were found not to follow the ANP changes: a decrease in ANP may be accompanied by an increase in BNP.*

*According to the ANP estimates the analyzed steppes can be grouped as following: 1) ANP from 10 to 5; 2) ANP from 5 to 3; 3) ANP from 3 to 1; 4) ANP less than 1 t/ha per year. The first group is located between 56° and 51° NL and includes six meadow steppes and one true steppe. The second group includes all three types of steppes (three meadow, six true and one dry steppe) between 56° and 50° N. The third group of steppes, between 54° and 43° NL, consists of six true and seven dry steppes. At 50°N one true and one dry steppes are located with the smallest ANP.*

*The first and the second groups are located in the same territory (from 56° to 50° N) and include both meadow and true steppes. About 70% of the meadow and half of the true steppes are characterized by the ANP ranging from 6.7 to 3.1 t/ha per year. In the northern part of the explored zone there are highly productive meadow steppes, whereas in its southern part there are true steppes with both high and low production.*

*The third group of steppes, with production from 3 to 1 t/ha per year, includes seven low-productive true and eight dry steppes. The average ANP of true and dry steppes of this group are similar (2,2 t/ha per year). Consequently, the area from 54° to 43°N can be considered as a zone of dry steppes.*

**Conclusion.** *There are no separate zones of meadow and real steppes, but there is a steppe zone that includes meadow and true steppes. The proposed division of the steppes and their zoning is made on the basis of ANP, which is the most important characteristic of any ecosystem.*

**Key words:** *aboveground production; belowground production; latitudinal gradient; longitudinal gradient; meadow steppes; true steppes; dry steppes.*

**How to cite:** *Titlyanova A.A., **Shibareva S.V.**, Varakina Z.V. Patterns of net primary production changes in eurasian steppes // The Journal of Soils and Environment. 2023. 6(2). e210. DOI: [10.31251/pos.v6i2.210](https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.210). (in Russian with English abstract).*

## REFERENCES

- Bazilevich N.I. Biological productivity of the ecosystems of Northern Eurasia. Moscow: Nauka Publ., 1993. 293 p. (in Russian).
- Bazilevich N.I., Titlyanova A.A., Smirnov V.V., Rodin L.E., Nechaeva N.T., Levin F.I. Methods for biological cycle studying in different natural zones. Moscow: Mysl', 1978. 184 p. (in Russian).

Bannikova I.A., Sukhoverko R.V., Bajasgalan D. East Khangai Steppes. Moscow: Nauka, 1986. P. 126–143. (in Russian).

Vagina T.A., Shatokhina N.G. Dynamics of aboveground and underground organic matter stocks of steppe, meadow and mire phytocenoses. In book: Structure, functioning and evolution of biocenoses system in Baraba. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1976. Vol. 2. P. 217–264. (in Russian).

Dubynina S.S. Net primary production of plant matter of the facies of the Berezovsky section in Nazarovskaya depression. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* (International Journal of Applied and Basic Research). 2019. No. 11. P. 9–14. DOI: [10.17513/mjpf.12923](https://doi.org/10.17513/mjpf.12923). (in Russian).

Lavrenko E.M., Karamysheva Z.V., Nikulina R.I. Steppes of Eurasia. Leningrad: Nauka, 1991. 146 p. (in Russian).

Snytko V.A., Nefedyeva L.G., Dubynina S.S. Grassland ecosystems of the Nazarovskaya depression, Krasnoyarsk region. In book: Biological productivity of grassland ecosystems. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1988. P. 88–97. (in Russian).

Titlyanova A.A. Biological carbon cycle in grass biogeocenoses. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1977. 220 p. (in Russian).

Titlyanova A.A., Kosykh N.P., Kyrgys Ch.S., Mironycheva-Tokareva N.P., Romanova I.P., Sambuu A.D., Shibareva S.V. Productivity of grassland ecosystems in the Tyva Republic, Russia. *The Journal of Soils and Environment*. 2020. Vol. 3. No. 2. P. e110. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v3i2.110>. (in Russian).

Titlyanova A.A., Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Romanova I.P. Below ground organs of plants in grassland ecosystems. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1996. 128 p. (in Russian).

Titlyanova A.A., Sambuu A.D. Succession in grasslands. Novosibirsk: Publishing House SB RAS, 2016. 191 p. (in Russian).

Titlyanova A.A., Shibareva S.V. Productivity of grassland ecosystems: a reference book. Moscow: Publishing House MBA, 2020. 100 p. (in Russian).

Titlyanova A.A., Shibareva S.V. Change in the net primary production and carbon stock recovery in fallow soils. *Eurasian Soil Science*. 2022. Vol. 55. No. 4. P. 501–510. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229322040135>.

Chimitdorzhieva E.O., Chimitdorzhieva G.D., Davydova T.V., Tsybenov J.B. Net primary production of postagrogenic soils in Western Transbaikal Area. *Vestnik of Kostroma State University*. 2012. No. 4. P. 28–31. (in Russian).

*Received 29 July 2023*

*Accepted 18 September 2023*

*Published 27 September 2023*

#### About the author(s):

**Titlyanova Argenta Antoninovna** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Principal Researcher in the Laboratory of Biogeocenology in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia), [argenta@issa-siberia.ru](mailto:argenta@issa-siberia.ru)

**Shibareva Svetlana Vasilevna** – Cand. of Biol. Sci., Researcher in the Laboratory of Biogeocenology in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia).

**Varakina Zoya Vadimovna** – Laboratory technician in the Laboratory of Biogeocenology in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); [varakina@issa-siberia.ru](mailto:varakina@issa-siberia.ru)

*The authors read and approved the final manuscript*



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)