

Фараби Керимбаевич Ермеков¹, Тарас Александрович Загребельный²,
Даян Сабьирович Инкаров³, Сауле Кажаровна Макенова⁴,
Владимир Леонидович Татаринцев^{5✉}, Леонид Михайлович Татаринцев⁶

^{1,3,4}Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Нур-Султан, Республика Казахстан

^{2,5}Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

⁶Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия

¹f.yermekov@gmail.com

^{2,5,6}kafzem@bk.ru

^{3,4}saule_makenova@mail.ru

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЕВООБОРОТОВ КАК ОСНОВА ОРГАНИЗАЦИИ УСТОЙЧИВОГО АГРОЛАНДШАФТА

Цель исследования – агроэкологическая оценка существующих севооборотов засушливой степи Алтайского края для их оптимизации и повышения устойчивости агроландшафтов. Задачи: оценить продуктивность агроландшафтов по муниципальным районам засушливой степи в период с 2002 по 2018 г.; рассчитать сбалансированность процессов минерализации и гумификации органического вещества в существующей системе севооборотов за обозначенный лаг. Объекты исследования – агроландшафты засушливой степи Алтайского края и культивируемые в них севообороты. В почвенном покрове преобладают черноземы южные и каштановые почвы. Количественные и качественные характеристики территории получены из общедоступных материалов Управления Росреестра по Алтайскому краю, также использованы материалы, полученные в результате исследования. Применялись общепринятые методы, используемые при изучении сложных многофункциональных систем: системный подход (анализ), используемый для комплексного изучения вероятностных систем, к которым относятся агроландшафты засушливой степи, а также исторический, ретроспективный, абстрактно-логический, эколого-ландшафтный методы, методы информационного анализа и синтеза. По 9 муниципальным районам, расположенным на территории засушливой степи, и по подзоне в целом рассчитали годовое количество биомасс, образованное в агроценозах под зерновыми культурами, а также определили статистические характеристики изменчивости урожайности зерновых за период с 2002 по 2018 г. Размах варьирования первичной продуктивности агрофитоценозов по подзоне составляет 4,1 т/га, а средняя урожайность зерновых – 1,0 т/га. Установили вероятность лет с различным уровнем урожайности зерновых культур по районам за изучаемый лаг. Оценили баланс (потери и поступление) органического вещества для системы севооборотов, культивируемой в засушливой степи Алтайского края. Из 18 севооборотов, рекомендованных для засушливой степи, 12 имеют отрицательный баланс гумуса. Ежегодные потери гумуса в этих севооборотах колеблются от 0,063 до 0,987 т/га. Все севообороты с отрицательным балансом разделены на пять групп, которые различаются степенью потерь гумуса за счет минерализации.

Ключевые слова: агроэкологическая оценка, севообороты, организация устойчивого аграрного землепользования, агроландшафты, засушливая степь, Алтайский край

Для цитирования: Агроэкологическая оценка севооборотов как основа организации устойчивого агроландшафта / Ф.К. Ермеков [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2022. № 7. С. 131–142. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-7-131–142.

Farabi Kerimbaevich Ermekov¹, Taras Alexandrovich Zagrebelny², Dayan Sabyrovich Inkarov³, Saule Kazhapovna Makenova⁴, Vladimir Leonidovich Tatarintsev⁵✉, Leonid Mikhailovich Tatarintsev⁶

^{1,3,4}Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

^{2,5}Altai State University, Barnaul, Russia

⁶Altai State Agrarian University, Barnaul, Russia

¹f.yermekov@gmail.com

^{2,5,6}kafzem@bk.ru

^{3,4}saule_makenova@mail.ru

CROPPED ROTATIONS AGROECOLOGICAL ASSESSMENT AS THE BASIS FOR ORGANIZING A SUSTAINABLE AGRICULTURAL LANDSCAPE

The purpose of the study is an agroecological assessment of existing crop rotations in the arid steppe of the Altai Region in order to optimize them and increase the sustainability of agricultural landscapes. Tasks: to assess the productivity of agrolandscapes in municipal areas of the arid steppe in the period from 2002 to 2018; calculate the balance between the processes of mineralization and humification of organic matter in the existing system of crop rotations for the indicated lag. The objects of study are agrolandscapes of the arid steppe of the Altai Region and crop rotations cultivated in them. The soil cover is dominated by southern chernozems and chestnut soils. The quantitative and qualitative characteristics of the territory were obtained from the publicly available materials of the Office of Rosreestr for the Altai Region, and the materials obtained as a result of the study were also used. The generally accepted methods used in the study of complex multifunctional systems were used: a systematic approach (analysis) used for a comprehensive study of probabilistic systems, which include agrolandscapes of the arid steppe, as well as historical, retrospective, abstract-logical, ecological-landscape methods, methods of information analysis and synthesis. For 9 municipal districts located on the territory of the arid steppe, and for the subzone as a whole, the annual amount of biomass formed in agrocenoses under grain crops was calculated, and also the statistical characteristics of the variability of grain yield for the period from 2002 to 2018 was determined. The range of variation in the primary productivity of agrophytocenoses by subzone is 4.1 t/ha, and the average grain yield is 1.0 t/ha. The probability of years with different levels of grain crop yields by districts for the studied lag was established. The balance (losses and gains) of organic matter for a crop rotation system cultivated in the arid steppe of the Altai Region was assessed. Of the 18 crop rotations recommended for the arid steppe, 12 have a negative humus balance. Annual losses of humus in these crop rotations range from 0.063 to 0.987 t/ha. All crop rotations with a negative balance are divided into five groups, which differ in the degree of humus loss due to mineralization.

Keywords: agroecological assessment, crop rotations, organization of sustainable agricultural land use, agricultural landscapes, arid steppe, the Altai Region

For citation: Cropped rotations agroecological assessment as the basis for organizing a sustainable agricultural landscape / F.K. Ermekov [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2022;(7): 131–142. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-7-131–142.

Введение. Площадь современных агроландшафтов засушливой степи Алтайского края составляет почти 1,8 млн га, включает девять муниципальных районов и на 90 % подвержена вредному воздействию дефляционных процессов [1–3]. Количество вносимых удобрений на 1 га в 2,5 раза ниже минимальной величины. Полностью отсутствуют проекты землеустройства территории [4–6]. В сложившихся условиях аграрное землепользование является крайне неустойчивым и нуждается в инновационных

подходах по его организации и оптимизации [7–12]. Одним из таких подходов является перестройка структуры агроценозов, т. е. разработка и введение системы севооборотов, которые обеспечивают максимальный выход биологической продукции и сохранение почвенного плодородия при минимальных затратах [13–17].

Цель исследования – агроэкологическая оценка существующих севооборотов засушливой степи Алтайского края для их оптимизации и повышения устойчивости агроландшафтов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: оценить продуктивность агроландшафтов по муниципальным районам засушливой степи в период с 2002 по 2018 г.; рассчитать сбалансированность процессов минерализации и гумификации органического вещества в существующей системе севооборотов за обозначенный лаг.

Объекты и методы. Агроландшафты засушливой степи Алтайского края стали объектом настоящего исследования. Засушливая степь является одной из четырех подзон землепользования Кулундинской степи. В почвенном покрове преобладают черноземы южные и каштановые почвы. Количественные и качественные характеристики территории получены из общедоступных материалов Управления Росреестра по Алтайскому краю. Также использованы материалы, полученные в результате исследований, проведенных авторами статьи.

К методологии исследований отнесены общепринятые методы, используемые при изучении сложных многофункциональных систем: системный подход (анализ), используемый для комплексного изучения вероятностных систем, к

которым относятся агроландшафты засушливой степи, а также исторический, ретроспективный, абстрактно-логический, эколого-ландшафтный методы, методы информационного анализа и синтеза.

Результаты и их обсуждение. При сельскохозяйственном производстве в ландшафте нарушаются его внутренняя структура и функционирование. Изменения структурно-функциональной организации ландшафта оцениваются по характеристикам биотической компоненты, которые отражают процессы создания, использования, разрушения и остаточного накопления биотической продукции. Текущее функционирование автотрофных компонентов агроландшафта оценивают по первичной продукции, которая фактически совпадает с продуктивностью фитоценоза. Продуктивность агроценоза характеризуется количеством органического вещества (фитомассы), образованного за год в наземной и подземной сферах сообщества за вычетом части, затраченной на дыхание.

Годовое количество биомасс, образованное в агроценозах под зерновыми культурами, представлено в таблице 1.

Таблица 1

Изменчивость продуктивности агроценозов по административным районам, т/га

Административный район	Статистическая характеристика				
	Размах варьирования	x	S	S _x	V, %
Бурлинский	1,1–4,1	2,2	0,9	0,2	41
Хабарский	1,6–4,9	3,2	1,0	0,3	32
Немецкий	1,2–5,2	3,2	0,8	0,2	25
Суетский	1,4–4,9	3,2	0,9	0,2	28
Благовещенский	1,2–4,3	3,1	0,8	0,2	27
Родинский	1,5–4,8	3,1	0,8	0,2	24
Волчихинский	2,0–4,4	3,1	0,6	0,2	20
Егорьевский	2,4–4,3	3,2	0,6	0,2	18
Рубцовский	1,9–4,0	2,8	0,6	0,2	20
По подзоне	1,1–5,2	3,0	0,8	0,2	27

Здесь и далее: x – среднее арифметическое; S – стандартное отклонение; S_x – ошибка выборочной средней, %; V – коэффициент вариации, %.

Размах варьирования первичной продуктивности агрофитоценозов по подзоне составляет 4,1 т/га. Эта величина включает основную продукцию (зерно), солому и корни растений. По районам размах варьирования годовичного количества фитомассы колеблется от 1,9 т/га в Егорьевском районе до 4,0 т/га в Немецком. Увеличение размаха (или интервала) варьиро-

вания количества первичной продукции говорит о большой изменчивости продуктивности зерновых по годам. Снижение величины интервала варьирования свидетельствует о меньшем влиянии погодных условий на величину фитомассы, производимой в агроценозах.

В естественных фитоценозах засушливой степи количество первичной продукции колеб-

лется от 1,2 до 4,0 т/га при среднеарифметическом значении, равном 2,5 т/га. Величина первичной продукции, создаваемой в природных фитоценозах засушливой степи, определяется видовым составом степных сообществ. Минимальная продуктивность фитоценозов отмечается в типчаковых степях (1,2–2,0 т/га сухого вещества). Типчаково-тырсовые ассоциации степной растительности дают на 3–5 ц/га продукции больше. Наиболее продуктивными являются разнотравно-типчаково-ковыльные степи, в которых общее количество фитомассы увеличивается до 3–4 т/га.

Сравнение среднеарифметических величин фитомассы естественных фитоценозов и агроценозов, занятых зерновыми культурами, показывает, что продуктивность агроценозов на 0,5 т/га выше, и только Бурлинский район обладает меньшей продуктивностью агроценозов на 0,3 т/га, чем природные фитоценозы. Судя по близким значениям продуктивности, фито- и

агроценозы засушливой степи должны обеспечивать практически одинаковую устойчивость агроландшафтов. На самом деле часть фитомассы (примерно 30–33 %) в виде урожая зерна изымается из геосистемы, и количество органического вещества, ежегодно поступающего на поверхность почвы и в почву, в среднем снижается до 1,5 т/га в Бурлинском районе и до 2,0–2,2 т/га – в других районах подзоны.

Урожайность зерновых культур проанализировали за 16 лет. По муниципальным районам она варьировала от 0,3 до 1,7 т/га. Изменчивость урожайности определялась погодными условиями. Так, в сухие годы урожайность зерновых не превышала 0,5 т/га; в засушливые – 0,5–0,8; средние – 0,8–1,1; увлажненные – 1,1–1,4 т/га; во влажные годы урожайность была более 1,4 т/га.

Динамика среднеарифметической урожайности зерновых по муниципальным районам засушливой степи показана на рисунке.



Динамика средней урожайности зерновых культур по подзоне

В исследуемый период средняя урожайность зерновых составила всего 1,0 т/га. Восемь лет (или 50 %) из 16 урожайность была ниже среднемноголетней по подзоне, еще восемь лет – выше среднемноголетней (на рисунке среднемноголетняя урожайность показана красной линией). При этом в 2012 и 2014 гг. снижение урожайности произошло на 0,3–0,4 т/га, тогда как в шести годах из восьми (2004–2006, 2008, 2001, 2013) урожайность зерновых была ниже сред-

немноголетней по подзоне только на 0,05–0,2 т/га. В 2002, 2005, 2017 и 2018 гг. урожайность зерновых превышала среднемноголетнюю по подзоне на 0,3–0,4 т/га, еще четыре года (2007, 2009, 2010 и 2015) урожайность зерновых была равной среднемноголетней величине или выше на 0,1–0,15 т/га.

Изменчивость урожайности за те же годы по административным районам засушливой степи показана в таблице 2.

**Статистические характеристики изменчивости урожайности
зерновых по районам за 2002–2016 гг., т/га**

Административный район	Статистическая характеристика				
	Размах варьирования	x	S	S _x	V, %
Бурлинский	0,4–1,4	0,76	0,30	0,07	37
Хабарский	0,5–1,7	1,06	0,34	0,09	32
Немецкий	0,4–1,8	1,08	0,34	0,09	31
Суетский	0,5–1,7	1,09	0,34	0,09	31
Благовещенский	0,4–1,5	1,05	0,33	0,08	31
Родинский	0,5–1,6	1,05	0,33	0,08	31
Волчихинский	0,7–1,4	1,04	0,33	0,08	32
Егорьевский	0,8–1,5	1,07	0,34	0,09	32
Рубцовский	0,6–1,4	0,95	0,32	0,08	34
По подзоне	0,4–1,8	1,03	0,32	0,08	31

Размах варьирования зерновых по административным районам колеблется от 0,64 т/га в Егорьевском районе до 1,34 т/га в Немецком районе. Судя по величинам интервала варьирования, стандартного отклонения и коэффициента вариации наиболее устойчивой урожайностью зерновых отличаются Волчихинский, Егорьевский и Рубцовский районы. В других районах устойчивость урожайности зерновых снижается, о чем свидетельствуют более широкие интервалы варьирования и коэффициенты вариации. Отметим, что среднее многолетнее значение урожайности зерновых по семи административным районам выше среднее многолетнее значение урожайности зерновых по подзоне. При этом все

семь районов не имеют статистически доказанных различий по среднее многолетнее значение урожайности зерновых.

В Бурлинском и Рубцовском районах среднее многолетнее значение урожайности ниже, чем для подзоны в целом. Отличие Бурлинского района от всех прочих районов (кроме Рубцовского) по среднее многолетнее значение урожайности зерновых доказывается величиной НСР при 5 % уровне значимости. Достоверность отличия Рубцовского района от других районов засушливой степи статистически не доказывается.

Изменчивость урожайности зерновых культур по годам представлена в таблице 3.

Таблица 3

Динамика урожайности зерновых культур, т/га

Год	Статистическая характеристика				
	Размах варьирования	x	S	S _x	V, %
2002	0,9–1,8	1,36	0,25	0,08	19
2003	0,7–1,3	1,02	0,26	0,09	26
2004	0,6–1,0	0,91	0,12	0,04	13
2005	0,4–1,0	0,81	0,19	0,06	23
2006	0,6–1,3	0,87	0,22	0,07	25
2007	0,7–1,4	1,06	0,24	0,08	23
2008	0,8–1,1	0,96	0,11	0,04	11
2009	1,0–1,6	1,37	0,18	0,06	13
2010	0,6–1,2	1,00	0,18	0,06	18
2011	0,7–1,2	0,94	0,19	0,06	21
2012	0,4–0,9	0,58	0,19	0,06	32
2013	0,6–1,1	0,88	0,16	0,05	19
2014	0,4–1,0	0,73	0,21	0,07	29
2015	1,0–1,4	1,16	0,13	0,04	11
2017	0,9–1,6	1,37	0,23	0,08	17
2018	0,7–1,7	1,45	0,30	0,10	21
По подзоне	0,4–1,8	1,03	0,20	0,07	19

В пределах конкретного года урожайность зерновых изменяется в более узком интервале. Размах варьирования урожайности зерновых по подзоне в 2008 г. составил 0,29 т/га с минимальным значением 0,80 т/га и максимальным – 1,09 т/га. В 2018 г. размах варьирования по районам достигал 0,94 т/га при минимальной уро-

жайности 0,73 т/га в Бурлинском районе и максимальной 1,67 т/га – в Хабаровском.

Вероятность лет с различным уровнем урожайности зерновых культур по административным районам исследуемой территории, обусловленной погодными условиями за 16 лет, приведена в таблице 4.

Таблица 4

Вероятность лет с различным уровнем урожайности зерновых культур по районам за 2002–2018 гг.

Административный район	Уровень урожайности, т/га				
	< 0,5	0,5–0,8	0,8–1,1	1,1–1,4	> 1,4
Бурлинский	2	6	1	1	–
Хабарский	–	3	3	2	2
Немецкий	1	1	4	3	1
Суетский	1	1	6	1	1
Благовещенский	1	3	5	1	–
Родинский	1	1	5	3	–
Волчихинский	–	–	7	3	–
Егорьевский	–	–	4	5	1
Рубцовский	–	2	7	1	–
По подзоне	1	2	4	2	1

Сухие годы в засушливой степи повторяются всего один раз в 10 лет и отличаются урожайностью в 0,35–0,48 т/га. Средние годы с урожайностью зерновых от 0,8 до 1,09 т/га встречаются 4 года из 10. На засушливые и увлажненные годы с урожайностью соответственно 0,54–0,80 и 1,15–1,39 т/га приходится по 2 года в 10 лет. Влажные годы с урожайностью выше 1,4 т/га наблюдаются очень редко – всего 1 раз в 10 лет.

Несмотря на однородность гидротермических условий, позволяющих выделить физико-географическую подзону засушливой степи, административные районы, входящие в состав подзоны, довольно существенно различаются по соотношению лет с различным уровнем влагообеспеченности и, следовательно, урожайности зерновых культур.

Так, в Бурлинском районе чаще, чем в других районах, встречаются сухие (2 раза в 10 лет) и в особенности засушливые годы, на которые приходится 6 лет из 10. Несколько реже повторяются засушливые годы (3–4 из 10) в Хабаровском и Благовещенском районах. Средние годы по увлажнению и урожайности зерновых культур наиболее часто (5–7 раз из 10) отмечаются в Суетском, Благовещенском, Родинском, Волчихинском и Рубцовском районах. В Немецком и

Егорьевском районах средними по урожайности являются 4 года из 10. Наибольшая вероятность лет (4–5 из 10) с урожайностью зерновых в интервале 1,1–1,4 т/га наблюдается в Родинском и Егорьевском районах. Три года из 10 урожая того же уровня отмечаются в Немецком и Егорьевском районах. В Бурлинском, Хабаровском, Суетском, Благовещенском и Рубцовском районах урожаи такой же величины встречаются только 1–2 раза в 10 лет. В 5 районах из 9 урожайность зерновых более 1,4 т/га вообще не бывает, в остальных районах такая урожайность возможна в 10 % случаев, то есть 1 раз в 10 лет.

Как говорилось выше, другим критерием оценки устойчивости агроценозов является сбалансированность процессов минерализации и гумификации органического вещества. Принцип сбалансированности процессов гумификации и дегумификации органического вещества обозначает, что при функционировании агроценоза в нем должен поддерживаться режим, при котором обеспечивается баланс между разнонаправленными процессами преобразования биопродукции, создаваемой автотрофами (сельскохозяйственными культурами).

Оценка баланса органического вещества проведена по методическим указаниям [18], разработанным коллективом авторов под руководством известного ученого Л.М. Бурлаковой (1985). При оценке баланса органического вещества использовали систему севооборотов, предложенную коллективом авторов [19] во главе с Н.В. Яшутиным (2005), для засушливой степи Алтайского края.

На приводораздельных пространствах с углами наклона до 1° рекомендуется размещать 5-6-польные полевые зернопаровые севообороты и 7-8-польные полевые зернопаротравяные севообороты. Зернопаровые севообороты включают: 1) пар чистый или кулисный; 2) яровая пшеница; 3) горох; 4) яровая пшеница; 5) овес или ячмень на зерно. В шестипольных зернопаровых севооборотах после чистого пара возможна озимая рожь, а затем идут культуры, которые включены в пятипольные севообороты. Семипольные зернопаротравяные севообороты имеют следующее чередование агроценозов: 1) пар чистый (или кулисный); 2) яровая пшеница; 3) овес, ячмень с подсевом многолетних трав; 4-5) эспарцет; 6) яровая пшеница; 7) зернофуражные (овес, ячмень). В восьмипольных зернопаротравяных севооборотах после чистого пара идут две яровые пшеницы (возможны озимая рожь и пшеница), затем зернофуражные культуры (с подсевом донника), донник. За донником следует яровая пшеница, горох, снова яровая пшеница. На плоских участках размещаются специальные (овощные, свекловичные) севообороты, включающие четыре агроценоза: 1) чистый пар; 2) овощи, свекла, картофель; 3) яровая пшеница; 4) однолетние травы на менокорм.

На слабодифференцированных почвах предлагают зернопаровые севообороты с короткой ротацией культур – от двух до пяти. Все севообороты

начинаются с чистого пара. В двух- и трехпольных севооборотах по пару идет один или два года яровая пшеница. В четырехпольных севооборотах после пара чистого идут два года яровая пшеница, возможно озимая рожь и яровая пшеница, один год зернофуражные (овес или ячмень) и завершают севооборот зернофуражные и гречиха, которые занимают по половине поля. Шестипольные зернопаровые севообороты начинаются с чистого пара с последующим чередованием основной культуры (яровой пшеницы) с зернофуражными культурами. Зернопаропропашные севообороты с более длинной ротацией (7-8 лет) культур включают: 1) чистый пар; 2) яровая пшеница с подсевом донника; 3-4) донник; 5) озимая рожь; 6) однолетние травы; 7) подсолнечник или гречиха.

На склонах 1-3° Н.В. Яшутин и соавторы (2005) предлагают пятипольные зернопаровые и шестипольные зернопаротравяные севообороты, отличие которых от описанных выше заключается в том, что в начале ротации стоит пар занятый. Затем в пятипольном севообороте последовательно идут яровая пшеница, горох, яровая пшеница и овес с подсевом донника. В шестипольном севообороте соответственно – яровая пшеница с подсевом многолетних трав, эспарцет два года, яровая пшеница и, наконец, зернофуражные.

В кормовых севооборотах при орошении рекомендуются: двухпольные – 1) кукуруза на силос, 2) горох + овес и поукосно рапс; трехпольные – 1) кукуруза, корнеплоды, картофель, 2) кукуруза, 3) однолетние травы; и пятипольные – 3) люцерна, 4) однолетние травы, 5) зернофуражные и люцерна под покров.

Результаты оценки баланса гумуса в рекомендованных севооборотах приведены в таблице 5.

Таблица 5

Баланс гумуса по севооборотам засушливой степи

Севообороты	Статья баланса				Баланс (+/-), т/га
	Расход	Приход			
		с пожнивными остатками	соломы	сидерата	
Овощные	-4,34	+0,62	+0,66	-	-3,06
Зернопаропропашные	-3,30	+0,94	+0,99	-	-1,37
Зернопаровые	-3,02	+0,97	+1,26	+0,23	-0,56
Кормовые	-3,1	+3,03	+0,26	+0,20	+0,39
Зернопаротравяные	-3,33	+3,02	+1,79	+0,69	+2,17
По подзоне в целом	-3,20	+1,89	+1,11	+0,30	+0,10

Из таблицы 5 следует, что положительный баланс гумуса обеспечивают кормовые севообороты, в которых многолетние травы занимают 50–60 % площади севооборота. При этом в семипольных севооборотах с паром чистым прирост гумуса составляет 0,5 т/га, тогда как в севооборотах без пара такая прибавка наиболее высокая и достигает 4 т/га. В двухпольных севооборотах, включающих кукурузу на силос и однолетние травы (горох + овес) на сенаж, наблюдаются потери гумуса почти на 0,9 т/га. В трехпольных севооборотах, насыщенных пропашными культурами (кукуруза, картофель, кормовая свекла), потери достигают 3 т/га. В среднем кормовые севообороты обладают положительным балансом гумуса (+0,39 т/га).

Зернопаровые севообороты не обеспечивают положительный баланс гумуса. Расход гумуса превышает приход на 0,4–1,7 т/га. Исключением является только пятипольный севооборот с паром, занятым донником, второй укос которого в объеме 40 ц/га зеленой массы используется в качестве сидерального удобрения. За счет этого по севообороту в целом достигается положительный баланс, с приходной частью баланса гумуса равной 1,4 т/га. В целом все территории, занятые зернопаровыми севооборотами, испытывают постоянный дефицит органического вещества, поступающего в почву, что неуклонно ведет к снижению плодородия почв и устойчивости агроландшафта. Все это становится причиной снижения биопродуктивности агроценозов.

Все зернопаротравяные севообороты с занятым паром и многолетними травами, площадь которых составляет 20–30 % площади севооборота, отличаются положительным балансом гумуса с дополнительным образованием гумуса от 1,4 до 3,5 т/га. Только зернопаротравяной

шестипольный севооборот с паром чистым и одним полем донника обладает отрицательным балансом гумуса. Потери составляют 1,5 т/га. Такой же севооборот с паром чистым, но в котором 30 % площади севооборота занято многолетними травами (эспарцет), обеспечивает положительный баланс гумуса. В целом территории засушливой степи, находящиеся под зернопаротравяными севооборотами, постоянно улучшаются, что работает на поддержание устойчивости агроландшафта.

Овощные и зернопаропропашные севообороты отличаются отрицательным балансом гумуса. Большие потери гумуса обусловлены необходимостью включения в севооборот чистых паров и пропашных культур. Постоянный процесс минерализации гумуса необходимо компенсировать путем внесения органических удобрений (навоза, компостов и др.). Для простого воспроизводства плодородия почв в зернопаропропашной севооборот необходимо внести 50–55 т навоза, а в овощной севооборот требуется 120 т/га или 30 т/га ежегодно.

Расчет баланса гумуса по всей системе севооборотов, рекомендованных земледельцами для засушливой степи (табл. 6), показывает, что в среднем структура севооборотов обеспечивает положительный баланс гумуса, хотя и с небольшой прибавкой, равной 0,1 т/га. За 50 лет XX столетия черноземы южные потеряли 0,8–1,0 % гумуса по сравнению с исходным его содержанием, который наблюдался до освоения целинных и залежных земель. За период после освоения целины в черноземах южных запасы гумуса в слое 0–50 см уменьшились на 50–60 т/га. При тех темпах воспроизводства запасов гумуса, которые мы установили, потребуется более 500 лет, чтобы вернуться к исходным запасам гумуса, составлявшим 270–300 т/га.

Таблица 6

Ежегодные потери гумуса в севооборотах засушливой степи с отрицательным балансом гумуса

Номер группы	Группы севооборотов	Ежегодные потери, т/га	Оценка потерь
1	2	3	4
1	Зернопаровой 6-польный: пар чистый, пшеница яровая 2 года, овес, пшеница яровая, ячмень	< 0,2	Очень низкие
	Зернопаровой 8-польный: пар чистый, пшеница яровая 2 года, овес с подсевом донника, донник, пшеница яровая, горох, пшеница яровая		
	Зернопаровой 6-польный: пар чистый, рожь озимая (поукосно рапс), пшеница яровая 2 года, ячмень		

1	2	3	4
2	Зернопаровой 5-польный: пар чистый, пшеница яровая, горох, пшеница яровая, овес (ячмень)	0,2–0,4	Низкие
	Зернопаропропашной 4-польный: пар чистый, пшеница яровая 2 года, ½ овес + ½ подсолнечник		
	Зерно-паро-травяной 6-польный: пар чистый, пшеница яровая с подсевом донника, донник, рожь озимая, однолетние травы, гречиха		
3	Кормовой 3-польный: кукуруза, горох, овес	0,4–0,6	Средние
	Зернопаровой 3-польный: пар чистый, пшеница яровая, овес (ячмень)		
4	Специальный 4-польный: овощи + картофель + корнеплоды, пшеница яровая 2 года, пар чистый	0,6–0,8	Высокие
5	Кормовой 3-польный: кукуруза + свекла кормовая + картофель, кукуруза, однолетние травы	> 0,8	Очень высокие
	Зернопаровой 2-польный: пар чистый, пшеница яровая		

Из 18 севооборотов, рекомендованных для засушливой степи, 12 имеют отрицательный баланс гумуса. Ежегодные потери гумуса в этих севооборотах колеблются от 0,063 до 0,987 т/га. Все севообороты с отрицательным балансом разделены на пять групп, которые различаются степенью потерь гумуса за счет минерализации. Группы выделены в таблице с шагом 0,2 т/га в год.

Заключение. Резюмируя вышеизложенное, следует отметить, что в пределах года урожайность зерновых в подзоне более устойчива, чем за продолжительный лаг. Это подтверждается более узким размахом варьирования урожайности зерновых, меньшими величинами стандартного отклонения и коэффициента вариации. В каждом из исследуемых районов засушливой степи урожайность зерновых по годам (или во времени) изменяется в более широком интервале, что говорит о меньшей устойчивости урожайности. На это указывает более широкий размах варьирования, а также более высокие значения стандартного отклонения и коэффициента вариации. При этом средняя урожайность зерновых по районам изменяется в более узком интервале, чем среднеголетняя урожайность по годам, которая сильно зависит от гидротермических условий длительного периода времени.

При анализе существующих севооборотов выяснилось, что очень высокими потерями гумуса отличаются кормовой 3-польный и зернопаровой 2-польный севообороты, высокими потерями (0,6–0,8 т/га в год) характеризуются специальные севообороты. Все севообороты с чистым паром

и пропашными культурами (овощи, картофель, корнеплоды и пр.) плохо сбалансированы, оказывая негативное влияние на территории, где размещены упомянутые выше севообороты. Эти участки агроландшафта испытывают максимальное антропогенное воздействие, снижающее устойчивость агропочв и сельскохозяйственное производство. Очень низкие потери органического вещества характерны для зернопаровых севооборотов с длиной (6–8-летней) ротацией культур. Потери гумуса в этих севооборотах легко компенсируются введением в севооборот сидеральных культур.

Список источников

1. Официальный сайт Управления Росреестра по Алтайскому краю. URL: <https://rosreestr.gov.ru>.
2. Орлов А.Д. Эрозия и эрозионные земли Западной Сибири. Новосибирск: Наука СО, 1983. 208 с.
3. Зональные и внутризональные особенности развития эрозии и дефляции в Алтайском крае / А.А. Бунин [и др.]. Барнаул: Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 2 (148). С. 29–37.
4. Мониторинг плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Алтайского края: справочник / Н.С. Халин [и др.]. Барнаул: Параграф, 2019. 384 с.
5. Бочаров С.Н., Татаринцев В.Л., Татаринцев Л.М. Эколого-экономическая оценка

- сельскохозяйственного землепользования Алтайского края с целью увеличения его продуктивности // Вестник КрасГАУ. 2020. № 1. С. 18–26.
6. Организация устойчивого сельскохозяйственного землепользования в Алтайском крае с применением ландшафтного анализа / В.Л. Татаринцев [и др.] // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т. 12, № 3. С. 339–349.
 7. Геоэкологическая оценка ландшафтов как основа организации устойчивого аграрного землепользования / В.Л. Татаринцев [и др.] // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. Т. 13, № 4. С. 485–497.
 8. The radiological state of the soil cover as the most important criteria for the estimation of the environment pollution / A.D. Fink [et al.] // *Gigiena i Sanitariya* Volume 97, Issue 2, 2018, Pages 113–116.
 9. *Iticha B., Takele C.* (2018). Soil-landscape variability: mapping and building detail information for soil management // *Soil Use Manage*, Vol. 34, pp. 111–123. DOI: 10.1111/sum.12404.
 10. *Borrelli P., Panagos P., Ballabio C.* et al. (2016) Towards a Pan-European assessment of land susceptibility to wind erosion // *Land Degradation and Development*, Vol. 27, pp. 1093–1105. DOI: 10.1002/ldr.2318.
 11. *Tatarintsev V.L., Tatarintsev L.M., Lisovskaya Yu.S.* Agricultural Landscape Quality as a Key Factor Fostering Environmentally Safe Agricultural Land Use in the Arid Steppe of the Altai Region. International Scientific and Practical Forum on Natural Resources, the Environment, and Sustainability 22–23 October 2020, Barnaul, Russian Federation. URL: <https://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/670/1>. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. «International Scientific and Practical Forum on Natural Resources, the Environment, and Sustainability» 2021. С. 012036.
 12. *Miller B.A., Brevik E.C., Pereira P., Schaetzl R.J.* (2019). Progress in soil geography I: Reinivation', *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, Vol. 43(6), pp. 827–854. DOI: 10.1177/0309133319889048.
 13. Охрана сельскохозяйственных угодий ЗАО «Новоселовское» Красноярского края на основе эколого-ландшафтного зонирования / Ю.В. Бадмаева [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2018. № 5. С. 329–334.
 14. Концепция формирования высокопродуктивных экологически устойчивых агроландшафтов и совершенствования систем земледелия на ландшафтной основе / А.Н. Каштанов [и др.]. Курск, 1992. 67 с.
 15. *Кирюшин В.И., Иванов А.Л.* Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. М.: Росинфоагротех, 2005. 784 с.
 16. Устойчивое развитие сибирских регионов / Ю.И. Винокуров [и др.]. Новосибирск: Наука, 2003. 240 с.
 17. *Исаченко А.Г.* Ландшафтная структура Земли, расселение, природопользование: монография. СПб., 2008. 317 с.
 18. *Бурлакова Л.М.* Методические указания по расчету баланса органического вещества в почвах Алтайского края. Барнаул: Изд-во АСХИ, 1985. 14 с.
 19. Системы земледелия (на примере сибирских регионов) / Н.В. Яшутин [и др.]; под ред. Н.В. Яшутина. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2005. 437 с.

References

1. Oficial'nyj sajt Upravleniya Rosreestra po Altajskomu krayu. URL: <https://rosreestr.gov.ru>.
2. *Orlov A.D.* `Eroziya i `erozionnye zemli Zapadnoj Sibiri. Novosibirsk: Nauka SO, 1983. 208 s.
3. Zonal'nye i vnutrizonal'nye osobennosti razvitiya `erozii i deflyacii v Altajskom krae / A.A. Bunin [i dr.]. Barnaul: Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 2 (148). S. 29–37.
4. Monitoring plodorodiy pochv zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya Altajskogo kraya: spravochnik / N.S. Halin [i dr.]. Barnaul: Paragraf, 2019. 384 s.
5. *Bocharov S.N., Tatarincev V.L., Tatarincev L.M.* `Ekologo-`ekonomicheskaya ocenka sel'skohozyajstvennogo zemlepol'zovaniya Altajskogo kraya s cel'yu uvelicheniya ego produktivnosti // *Vestnik KrasGAU*. 2020. № 1. S. 18–26.
6. Organizaciya ustojchivogo sel'skohozyajstvennogo zemlepol'zovaniya v Altajskom krae s primeneniem landshaftnogo analiza / V.L. Ta-

- tarincev* [i dr.] // *Ustojchivoe razvitie gornyh territorij*. 2020. T. 12, № 3. S. 339–349.
7. Geo`ekologicheskaya ocenka landshaftov kak osnova organizacii ustojchivogo agrarnogo zemlepol'zovaniya / V.L. *Tatarincev* [i dr.] // *Ustojchivoe razvitie gornyh territorij*. 2021. T. 13, № 4. S. 485–497.
 8. The radiological state of the soil cover as the most important criteria for the estimation of the environment pollution / A.D. *Fink* [et al.] // *Gigiena i Sanitariya* Vol. 97, Issue 2, 2018, Pages 113–116.
 9. *Iticha B., Takele C.* (2018). Soil-landscape variability: mapping and building detail information for soil management // *Soil Use Manage*, Vol. 34, pp. 111–123. DOI: 10.1111/sum.12404.
 10. *Borrelli P., Panagos P., Ballabio C.* et al. (2016) Towards a Pan-European assessment of land susceptibility to wind erosion // *Land Degradation and Development*, Vol. 27, pp. 1093–1105. DOI: 10.1002/ldr.2318.
 11. *Tatarintsev V.L., Tatarintsev L.M., Lisovskaya Yu.S.* Agricultural Landscape Quality as a Key Factor Fostering Environmentally Safe Agricultural Land Use in the Arid Steppe of the Altai Region. International Scientific and Practical Forum on Natural Resources, the Environment, and Sustainability 22–23 October 2020, Barnaul, Russian Federation. URL: <https://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/670/1>. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. «International Scientific and Practical Forum on Natural Resources, the Environment, and Sustainability» 2021. S. 012036.
 12. *Miller B.A., Brevik E.C., Pereira P., Schaetzl R.J.* (2019). Progress in soil geography I: Reinvigoration', *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, Vol. 43(6), pp. 827–854. DOI: 10.1177/0309133319889048.
 13. Ohrana sel'skohozyajstvennyh ugodij ZAO «Novoselovskoe» Krasnoyarskogo kraja na osnove `ekologo-landshaftnogo zonirovaniya / Yu.V. *Badmaeva* [i dr.] // *Vestnik KrasGAU*. 2018. № 5. S. 329–334.
 14. Konceptiya formirovaniya vysokoproduktivnyh `ekologicheski ustojchivyh agrolandshtov i sovershenstvovaniya sistem zemledeliya na landshaftnoj osnove / A.N. *Kashtanov* [i dr.]. Kursk, 1992. 67 s.
 15. *Kiryushin V.I., Ivanov A.L.* Agro`ekologicheskaya ocenka zemel', proektirovanie adaptivno-landshaftnyh sistem zemledeliya i agrotehnologij. M.: Rosinfoagroteh, 2005. 784 s.
 16. Ustojchivoe razvitie sibirskih regionov / Yu.I. *Vinokurov* [i dr.]. Novosibirsk: Nauka, 2003. 240 s.
 17. *Isachenko A.G.* Landshaftnaya struktura Zemli, rasselenie, prirodopol'zovanie: monografiya. SPb., 2008. 317 s.
 18. *Burlakova L.M.* Metodicheskie ukazaniya po raschetu balansa organicheskogo veschestva v pochvah Altajskogo kraja. Barnaul: Izd-vo ASHI, 1985. 14 s.
 19. Sistemy zemledeliya (na primere sibirskih regionov) / N.V. *Yashutin* [i dr.]; pod red. N.V. *Yashutina*. Barnaul: Izd-vo AGAU, 2005. 437 s.

Статья принята к публикации 02.06.2022 / The article accepted for publication 02.06.2022.

Информация об авторах:

Фараби Керимбаевич Ермаков¹, директор Центра технологических компетенций в области цифровизации АПК

Тарас Александрович Загребельный², аспирант кафедры экономической географии и картографии

Даян Сабирович Инкаров³, докторант кафедры землеустройства и геодезии

Сауле Кажаповна Макенова⁴, заведующая кафедрой землеустройства и геодезии, ассоциированный профессор, доктор PhD

Владимир Леонидович Татаринцев⁵, профессор кафедры экономической географии и картографии, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Леонид Михайлович Татаринцев⁶, профессор кафедры землеустройства, земельного и городского кадастра, доктор биологических наук, профессор

Information about the authors:

Farabi Kerimbaevich Ermekov¹, Director of the Center for Technological Competence in the Field of Digitalization of the Agro-industrial Complex

Taras Alexandrovich Zagrebelny², Postgraduate Student, Department of Economic Geography and Cartography

Dayan Sabyrovich Inkarov³, Doctoral Student at the Department of Land Management and Geodesy

Saule Kazhapovna Makenova⁴, Head of the Department of Land Management and Geodesy, Associate Professor, PhD

Vladimir Leonidovich Tatarintsev⁵, Professor at the Department of Economic Geography and Cartography, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Leonid Mikhailovich Tatarintsev⁶, Professor at the Department of Land Management, Land and Urban Cadastre, Doctor of Biological Sciences, Professor

