

Л.Н. ПУРТОВА, И.В. КИСЕЛЕВА

Влияние фитомелиорации на показатели плодородия и интегральное отражение агрогенных почв Приморья

Исследовано влияние различных фитомелиорантов (люцерна, костреч, клевер, донник, гречиха) на физико-химические и оптические свойства агротемногумусовых отбеленных почв Приморья. Установлено позитивное воздействие фитомелиорантов на протекание гумусообразовательного процесса. Наибольшие по сравнению с контролем содержание гумуса и его энергозапасы зафиксированы в вариантах с посевами люцерны и костреча. Накопление гумуса сопровождалось снижением параметров интегрального отражения и возрастанием каталазной активности почв.

Ключевые слова: гумус, физико-химические свойства почв, интегральное отражение, энергозапасы, фитомелиорация.

Influence of phytomelioration on fertility indicators and integral reflection of agrogenic soils of Primorye.
L.N. PURTOVA, I.V. KISELEVA (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok).

The influence of different phytomeliorants (alfalfa, brome grass, clover, melilot, buckwheat) on the physico-chemical and optical properties of agrodarkhumus bleached soils of Primorye was investigated. Positive impact of phytomeliorants on humus formation process was established. The highest content of humus and its energy stock, compared with the control, recorded on variants with crops of alfalfa and brome grass. The accumulation of humus was accompanied by a decrease in the parameters of integrated reflection and an increase in catalase activity of soils.

Key words: humus, physico-chemical properties of soils, integrated reflection, energy resources, phytomelioration.

Введение

При решении проблемы воспроизводства плодородия почв пристальное внимание обращается на активизацию агрономически полезных процессов в почвенной среде, связанных с участием растений. Переориентация на преимущественное использование биологических факторов поддержания плодородия почв, оказывающих положительное воздействие на почвенную среду, является основой современной биологизации земледелия. При этом важнейшую роль в повышении уровня плодородия почв играет растительный покров [2, 11, 20]. Одним из способов улучшения физико-химических свойств почв является фитомелиорация как комплекс мероприятий по улучшению природной среды с помощью культивирования или поддержания растительных сообществ. В земледелии фитомелиорация нашла широкое применение как экологически чистый метод воспроизводства плодородия почв, в котором используется природный потенциал

*ПУРТОВА Людмила Николаевна – доктор биологических наук, заведующая сектором, КИСЕЛЕВА Ирина Владимировна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник (Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: purtova@ibss.dvo.ru

растений [4, 5, 17]. Отмечена положительная роль бобовых трав в улучшении физико-химических свойств почв [12].

При подборе фитомелиорантов учитывается их отношение к среде обитания, действие на почву. В севооборотах с многолетними травами накапливается органическое вещество в виде корневых остатков, представляющих основу для протекания процесса гумусообразования. Содержание гумуса служит одним из важнейших показателей плодородия почв. Гумус – главный аккумулятор преобразованной солнечной энергии на Земле и гарант получения растительной продукции. При использовании почв в системе земледелия наблюдается значительное снижение содержания гумуса и его энергозапасов [7, 18, 21].

Проблема сохранения гумуса особенно касается почв Дальневосточного региона. Многолетние и неоднократные стабильные и длительные осадки с последующими наводнениями при длительных периодах затопления и переувлажнения усиливают напряженность разнообразных миграционных процессов (от вымывания гумуса и перемещения почвенных частиц до смыва пахотных горизонтов). Почвенный покров в Приморском крае испытывает высокий и неоднозначный экологический прессинг. Соответственно в почвах наблюдаются высокие потери гумуса, происходят изменения в системе гумусовых веществ, энергозапасах и оптических показателях, связанных с содержанием гумуса [10]. В связи с этим актуальны работы по выбору наиболее эффективных фитомелиоративных приемов, оказывающих позитивное влияние на накопление гумуса в почвах, и разработка методов индикации его содержания.

Цель работы – оценка влияния посевов различных трав на изменение содержания гумуса, ферментативную активность и интегральное отражение агротемногумусовых отбеленных почв Приморья.

В задачи исследований входило:

1. Изучение изменений в основных физико-химических показателях почв под посевами различных фитомелиорантов.
2. Исследование динамики содержания гумуса, каталазной активности и интегрального отражения почв в летне-осенний период.
3. Установление связи между содержанием гумуса и интегральным отражением агротемногумусовых отбеленных почв с посевами трав.

Объекты и методы исследования

Объект исследований – агротемногумусовые отбеленные почвы, составляющие основной фонд агрономически ценной пашни [6, 8]. Профиль почв дифференцирован на горизонты: PU (0–20 см) – ELnng (20–47) – BTg (47–102) – Cg (глубже 102 см).

Агротемногумусовые отбеленные почвы формируются при выпадении значительного количества осадков (до 800 мм в год), а также при высоких показателях радиационного баланса ($52,2 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{год}$) и затрат энергии на почвообразование ($33,9 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{год}$). Разложение растительных остатков осуществляется в условиях контрастного окислительно-восстановительного режима (350–675 мВ) и высокой микробиологической активности [16].

Исследования проводили на полях ПримНИИСХ в условиях микроделяночного опыта (размер делянок $1,8 \times 2,5 \text{ м}$) с посевами фитомелиорантов (способ посева рядковый, беспокровный) по схеме: 1. Контроль (чистый пар); 2. Люцерна (сорт Находка); 3. Кострец (Первомайский); 4. Клевер (Командор); 5. Донник (Обский Гигант); 6. Гречиха (сорт Приморский 71). Почвенные образцы отбирали во вторых декадах июля и сентября (2014, 2015 гг.).

Кислотность почв определяли потенциометрически на рН-метре ОР-264; содержание подвижных форм фосфора – по методу Кирсанова, калия – по Масловой, поглощенные

катионы – по Шолленбергеру, содержание гумуса – по методу Тюрина [1]. При оценке содержания подвижных форм фосфора и калия использовали оценочные шкалы, предложенные Н.А. Рыбачук и В.И. Ознобихиным [19]. Оценку содержания и запасов гумуса провели по показателям Д.С. Орлова с соавторами [14].

Оптические показатели почв (интегральное отражение R) исследовали на спектрофотометре СФ-18 по данным спектральной отражательной способности в диапазоне длин волн от 420 до 740 нм с шагом в 20 нм [9]. При исследовании зависимости $R = f(C)$ предполагалась нелинейная экспоненциальная аппроксимация [3]: $R(C) = R_{\min} + (R_{\max} - R_{\min})e^{kC}$ (1), где $R(C)$ – интегральное отражение; R_{\min} – отражение с максимальным содержанием гумуса; R_{\max} – то же с минимальным содержанием; C – содержание гумуса в почве.

Коэффициент связи k вычисляли путем логарифмирования выражения

$$k = \frac{1}{c} \ln \frac{R - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}},$$

где C – средние показатели содержания гумуса, R – средние показатели интегрального отражения в исследуемых вариантах опыта.

Обработка данных проведена с помощью компьютерной программы Ms Excel.

Результаты и их обсуждение

Гумусообразование в агротемногумусовых отбеленных почвах с посевами фитомелиорантов, судя по $pH_{\text{вод.}}$, протекает в условиях слабокислой реакции среды летом и нейтральной – осенью. Средние значения pH за летне-осенний период представлены в табл. 1. Согласно оценочным градациям В.И. Ознобихина, Э.П. Синельникова [13], показатели обменной кислотности соответствуют кислой реакции среды. Гидролитическая кислотность ($Hг$) незначительна в посевах люцерны, костреца и донника (4,64–8,84 мг/100 г почвы). Возрастание уровня $Hг$ до высоких значений установлено на следующих вариантах: контроль, клевер, гречиха.

Для контроля и всех вариантов опыта с посевами фитомелиорантов характерно низкое содержание фосфора. Наименьшие показатели содержания подвижных фосфатов зафиксированы в варианте с посевами люцерны (1,66 мг/100 г почвы). Вероятно, это обусловлено потреблением элементов питания растениями, а также изначально низким содержанием фосфора в данном типе почв в связи с процессом конкрециообразования и связыванием его в малоподвижные формы. Содержание подвижного калия варьирует от средних значений в вариантах с донником и гречихой до повышенных значений в контроле, посевах люцерны, костреца и клевера.

В почвенном поглощающем комплексе (ППК) во всех исследуемых вариантах опыта с посевом фитомелиорантов преобладают катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} .

В ППК зафиксировано низкое содержание калия. Во многом это обусловлено преобладанием в составе гумуса фульвокислот, что приводит к обеднению катионами в условиях кислой реакции среды. Соотношение $C_{\text{гк}}/C_{\text{фк}}$ составило: на контроле – 0,94, в вариантах с люцерной – 0,80, с кострцом – 0,71, клевером – 0,69, донником – 0,72, гречихой – 0,62. Тип гумусообразования изменялся от гуматно-фульватного до фульватного. В вариантах опыта с фульватным типом гумусообразования, для которого характерно более низкое соотношение $C_{\text{гк}}/C_{\text{фк}}$, наблюдалось снижение содержания калия в составе почвенного поглощающего комплекса, что, на наш взгляд, связано с усилением процессов его выноса из состава ППК. Степень насыщенности основаниями во всех вариантах опыта с посевами фитомелиорантов достигала высоких значений. Поэтому почвы с посевами фитомелиорантов не испытывали острой потребности в проведении известкования.

Таблица 1

Агрохимические показатели почв в условиях фитомелиоративного опыта

Вариант опыта	рН		Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы	P ₂ O ₅ мг/100 г почвы	K ₂ O	Поглощенные основания, мг-экв/100 г почвы				Степень насыщенности основаниями, %
	водный	солевой				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	
	M ± m									
1. Контроль	6,09 ± 0,01	4,83 ± 0,07	5,07 ± 0,01	2,4 ± 0,28	14,1 ± 2,80	21,2 ± 1,43	7,25 ± 1,21	0,79 ± 0,05	1,4 ± 0,11	85,75 ± 0,37
2. Люцерна	6,21 ± 0,08	5,01 ± 0,03	4,84 ± 0,12	1,66 ± 0,38	13,36 ± 1,29	15,6 ± 1,02	11,39 ± 0,63	0,67 ± 0,00	1,0 ± 0,11	86,5 ± 0,46
3. Кострец	6,15 ± 0,00	5,02 ± 0,01	4,64 ± 0,00	2,59 ± 0,65	14,87 ± 3,20	15,6 ± 1,66	8,29 ± 1,22	0,69 ± 0,01	2,0 ± 0,38	86,57 ± 0,01
4. Клевер	5,98 ± 0,04	4,85 ± 0,05	5,38 ± 0,00	2,27 ± 0,35	13,1 ± 1,51	19,68 ± 1,16	8,27 ± 0,57	0,55 ± 0,06	2,0 ± 0,48	86,83 ± 0,19
5. Донник	6,18 ± 0,03	4,42 ± 0,25	4,8 ± 0,05	2,07 ± 0,26	11,21 ± 1,76	21,2 ± 2,03	9,04 ± 1,32	0,69 ± 0,06	1,03 ± 0,21	86,45 ± 0,89
6. Гречиха	6,14 ± 0,12	4,82 ± 0,01	5,19 ± 0,23	2,07 ± 0,29	10,06 ± 2,12	20,68 ± 1,73	7,24 ± 0,58	0,46 ± 0,01	1,14 ± 0,03	84,9 ± 0,46

Примечание. М – среднее значение за 2014–2015 гг. в летне-осенний период; ± – ошибка среднего.

В горизонте PU зафиксировано возрастание содержания гумуса и его запасов в большинстве исследуемых вариантов опыта по сравнению с контролем (за исключением варианта б, гречиха). Наибольшие показатели запасов гумуса в 20-сантиметровом слое почв характерны для вариантов с посевами люцерны и костреца (табл. 2). Возрастание запасов гумуса в вариантах с посевами бобовых трав связано с усилением процессов гумусообразования в результате обогащения почв азотом за счет клубеньковых бактерий. В посевах костреца значительное количество органических остатков, поступающих с корневой массой растений, также способствовало накоплению гумуса и его запасов в горизонте PU. При этом уровень ферментативной (катализной) активности был более высоким в вариантах с посевами бобовых трав, что указывает на высокую биологическую активность почв.

Снижение уровня катализной активности (Ка) зафиксировано в вариантах с более низким содержанием гумуса (контроль, гречиха). Коэффициент корреляции для пары Ка–гумус составил 0,68.

Изменения в содержании гумуса отражались и в оптических показателях почв – интегральном отражении.

Показатели интегрального отражения связаны с наличием гидратированных оболочек на поверхности почвенных частиц. Высокая насыщенность химическими соединениями, в том числе хромофорными элементами сорбционных образований, является рабочей средой процесса взаимодействия светового луча с почвой. Сорбционные оболочки имеют различную оптическую плотность, определяемую в основном наличием гумусовых веществ и окислов железа. При малом содержании хромофоров большая часть поверхности минеральных зерен свободна от светопоглощающих комплексов, и почва обладает хорошими отражательными свойствами.

Таблица 2

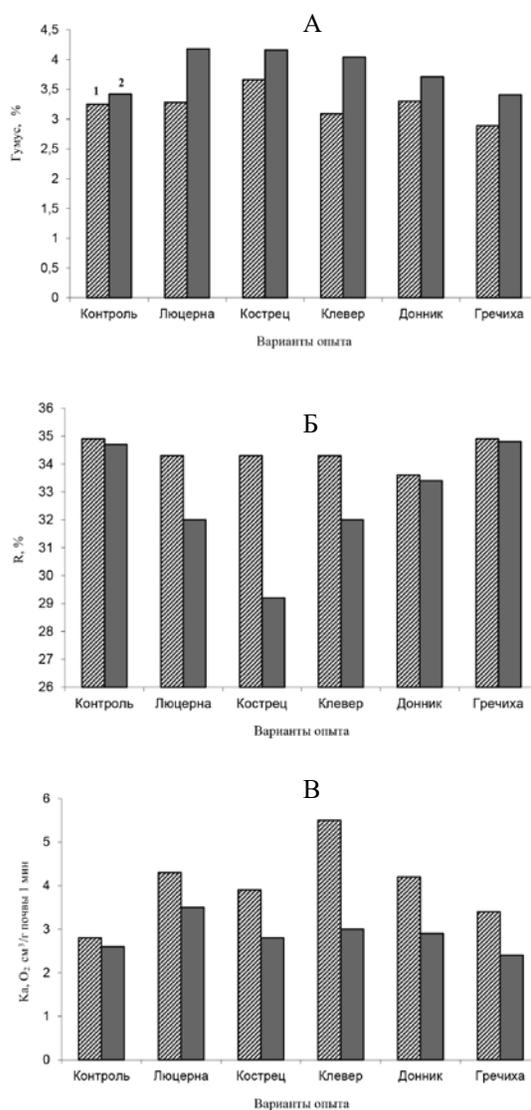
Содержание, запасы гумуса, энергозапасы (Q_e) и каталазная активность в пахотном горизонте

Вариант опыта	Гумус, %	Запасы гумуса, т/га	Q_e , млн ккал/га	Ка, O_2 , cm^3/g почвы за 1 мин
1. Контроль	3,48 ± 0,11	84,1 ± 3,3	437,7 ± 16,6	2,75 ± 0,68
2. Люцерна	3,73 ± 0,12	94,7 ± 4,5	490,1 ± 23,2	3,90 ± 0,27
3. Кострец	3,91 ± 0,18	95,8 ± 1,7	496,3 ± 12,0	3,37 ± 0,37
4. Клевер	3,56 ± 0,24	89,1 ± 3,9	460,6 ± 20,0	4,25 ± 0,72
5. Донник	3,51 ± 0,11	85,4 ± 4,9	441,6 ± 25,2	3,58 ± 0,32
6. Гречиха	3,16 ± 0,24	74,9 ± 5,4	387,4 ± 21,7	2,90 ± 0,32

Примечание. M – среднее значение за 2014–2015 гг. в летне-осенний период; ± m – ошибка среднего; Q_e – энергозапасы почв; Ка – каталазная активность почв.

С увеличением содержания этих хромофорных компонент пленочные образования становятся более плотными, и светопоглощение возрастает. Обусловленность светопоглощения наличием сорбционных образований и прямая связь светоотражения и абсорбции лучистой энергии позволяют принять спектрофотометрические показатели в качестве оценочных критериев генетических особенностей почв и их диагностических признаков [9].

Показатели спектральной отражательной способности почв связаны с содержанием гумуса. Найдена обратная зависимость для пары «отражательная способность (R) – содержание органического углерода ($C_{орг}$)», что позволило сделать следующий вывод: величина содержания гумуса является одной из причин, определяющих различия в отражательной способности верхних гумусовых горизонтов [15]. Между показателями содержания гумуса и интегрального отражения почв Приморья установлена обратная связь [10]. Показатели интегрального отражения (средние за летне-осенний период 2014 и 2015 гг.) достигали наибольших величин (33,3 %) в варианте с посевами гречихи с низким содержанием гумуса (3,16 %). В контроле параметры R составили 32,5 %, в посевах люцерны и клевера – 32,7–32,8 %, тогда как в вариантах с кострецом и донником снизились до 31,8 и 31,6 % соответственно.



Изменение содержания гумуса (А), интегрального отражения (Б) и каталазной активности (В) в летне-осенний период 2014–2015 гг. в агроземногумусовых отбеленных почвах с посевами фитомелиорантов. 1 – июль, 2 – сентябрь

Исследованиями установлено, что в результате стабилизации гумусовой системы почв в осенний период прослеживалась следующая закономерность: содержание гумуса повышалось, интегральное отражение почв снижалось (см. рисунок). При этом уровень каталазной активности летом был более высоким, чем осенью. Это обусловлено снижением температуры воздуха в сентябре и затуханием микробиологической деятельности. Между параметрами K_a и R установлена обратная связь, степень проявления которой была выражена более четко в осенний период. Повышение показателей R сопровождалось снижением показателей K_a . Коэффициент корреляции в сентябре составил $-0,53$, в июле – $-0,46$.

Обобщение результатов исследований по данным интегрального отражения почв (2013–2017 гг.) и исследование функциональной зависимости $R = f(C)$ с предположением нелинейной экспоненциальной аппроксимации [3] позволили установить различия

на вариантах с посевами разных фитомелиорантов как в числовых параметрах формулы расчета R , так и в показателях их степени k (табл. 3).

Таким образом, тесная связь между параметрами интегрального отражения и содержанием гумуса дает возможность провести мониторинг изменения содержания гумуса с посевами фитомелиорантов.

Таблица 3

Взаимосвязь интегрального отражения и содержания гумуса в пахотном горизонте

Вариант опыта	Коэффициент связи (k)	Формула расчета
1. Контроль	-0,16	$R(C) = 28,1 + 8,4e^{-0,16C}$
2. Люцерна	-0,12	$R(C) = 27,0 + 9,6e^{-0,12C}$
3. Кострец	-0,20	$R(C) = 27,2 + 9,4e^{-0,20C}$
4. Клевер	-0,16	$R(C) = 29,0 + 7,8e^{-0,16C}$
5. Донник	-0,20	$R(C) = 27,0 + 9,8e^{-0,20C}$
6. Гречиха	-0,15	$R(C) = 28,3 + 7,4e^{-0,15C}$

Выводы

1. Гумусообразование в условиях фитомелиоративного опыта, исходя из данных по pH_{H_2O} , протекало в условиях слабокислой реакции среды в летний период и нейтральной – в осенний. Для всех исследуемых вариантов опыта с посевами трав свойственно низкое содержание фосфора, что указывает на необходимость применения фосфорных удобрений. Количество обменного калия изменялось от средних до повышенных значений. В почвенном поглощающем комплексе горизонта PU преобладали ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} . Исследованные почвы не испытывали острой потребности в проведении известкования в связи с высокой степенью насыщенности основаниями.

2. Установлено позитивное воздействие фитомелиорантов на протекание гумусообразовательного процесса, что отражалось в повышении содержания гумуса и его энергозапасов. Наибольшие по сравнению с контролем показатели содержания гумуса и его энергозапасов зафиксированы в вариантах с посевами люцерны и костреца. Накопление гумуса сопровождалось снижением параметров интегрального отражения и возрастанием каталазной активности почв.

3. Исследованием динамики изменения содержания гумуса, каталазной активности и интегрального отражения почв в летне-осенний период зафиксировано накопление гумуса и снижение уровня каталазной активности и интегрального отражения в осенний период. Наиболее отчетливо эта закономерность проявлялась в опытах с посевами люцерны, костреца и клевера.

4. С повышением показателей интегрального отражения на вариантах с посевами фитомелиорантов снижался уровень каталазной активности. Коэффициент корреляции для пары R – K_a составил $-0,53$.

5. Исследована зависимость $R = f(C)$ в условиях микроделяночного опыта, установлены различия в числовых значениях и степени выраженности связи k между параметрами интегрального отражения и содержанием гумуса, что дает возможность

использования R для индикации изменения содержания гумуса в горизонте PU агро-
тмногоумосовых отбеленных почв с посевами различных трав.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 487 с.
2. Атюшева Е.Ч., Джалова Р.Р. Видовой состав и продуктивность фитоценозов, улучшенных путем фитомелиорации на бурых полупустынных почвах Калмыкии // Изв. СНИЦ РАН. 2012. Т. 14, № 1 (5). С. 1187–1190.
3. Виноградов Б.В. Дистанционная индексация содержания гумуса в почвах // Почвоведение. 1981. № 11. С. 114–123.
4. Зотиков В.И., Задорин А.Д. Повышение продуктивности и устойчивости агроэкосистем. Орел: Картуш, 2007. 197 с.
5. Кирюшин В.И. Экологизация земледелия и технологическая политика. М.: МСХА, 2000. 474 с.
6. Классификация и диагностика почв России. М.: Ойкумена, 2004. 341 с.
7. Кленов Б.М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири. Новосибирск: СО РАН ГЕО, 2000. 176 с.
8. Костенков Н.М., Оздобихин В.И. Почвы и почвенные ресурсы юга Дальнего Востока и их оценка // Почвоведение. 2006. № 5. С. 517–526.
9. Михайлова Н.А., Орлов Д.С. Оптические свойства почв и почвенных компонентов. М.: Наука, 1986. 120 с.
10. Михайлова Н.А., Пуртова Л.Н. Оптико-энергетические методы в экологии почв. Владивосток: Дальнаука, 2005. 80 с.
11. Мушаева К.Б. Эффективность фитомелиорации пастбищ на черных землях Калмыкии // Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2015. № 1 (37). С. 1–5.
12. Новиков В.М. Влияние гороха и гречихи на плодородие почвы и продуктивность звена севооборота при различной основной обработке почв // Зернобобовые и крупяные культуры. 2012. № 2. С. 72–76.
13. Оздобихин В.И., Синельников Э.П. Характеристика основных свойств почв Приморья и пути их рационального использования. Усурийск: ПСХИ, 1985. 72 с.
14. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–926.
15. Орлов Д.С., Прошина Н.В. Количественные закономерности отражения света почвами // Вариационно-статистическая характеристика почв Звенигородской биостанции МГУ // Биол. науки. 1975. № 7. С. 111–115.
16. Пуртова Л.Н., Щапова Л.Н., Ващенко А.П., Брагина В.П. Влияние применения удобрений и гербицидов в семеноводческих посевах сои на состояния агроземов Приморья // Вестн. РАСХ. 2011. № 6. С. 19–21.
17. Пуртова Л.Н., Щапова Л.Н., Емельянов А.Н., Иншакова С.Н. Изменение показателей плодородия почв в агрообразцах Приморья в условиях фитомелиоративного опыта // Вестн. КрасГАУ. 2011. № 11. С. 62–68.
18. Пуртова Л.Н., Костенков Н.М. Содержание органического углерода и энергозапасы в почвах природных и агрогенных ландшафтов юга Дальнего Востока России: оценка и методы индикации. Владивосток: Дальнаука, 2009. 124 с.
19. Рыбачук Н.А., Оздобихин В.И. Разработка методики картографической оценки трансформации и динамики агрохимических показателей пахотных почв // Тр. Дальневост. отделения Докучаевского о-ва почвоведов РАН. Владивосток: ДВО РАН, 2005. Т. 2. С. 12–18.
20. Суюндуков Я.Т., Миркин Б.М., Абдулин М.Р. и др. Роль фитомелиорации в воспроизводстве плодородия черноземов Зауралья // Почвоведение. 2007. № 10. С. 1217–1225.
21. Stevenson F.J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. N.Y.: Wiley-Interscience, 1982. 443 p.