

БАЛАНС АЗОТА, ЦИНКА И ОЛОВА В ПОСЕВАХ СОИ НА ПОЧВАХ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

В.И. Голов,

доктор биологических наук

М.Л. Бурдуковский,

аспирант

Биолого-почвенный институт Дальневосточного
отделения Российской академии наук
Россия, 690022, Приморский край, г. Владивосток,
пр-т 100 лет Владивостока, 159
тел.: (4232) 310-410, факс (4232) 310-193,
E-mail: golov@ibss.dvo.ru

Ключевые слова: соя, вынос, баланс, азот,
цинк, олово, полевые опыты

УДК 631.811(571.61)

Введение. Изучение круговорота элементов питания, включая микроэлементы и тяжелые металлы в посевах возделываемых культур, позволяет нам судить о величине их выноса из почв и о возврате в почву с корнями и другой побочной продукцией. В отношении тяжелых металлов (далее ТМ), помимо сказанного, такая информация позволяет выявлять растения-концентраторы наиболее вредоносных ТМ для дальнейшего их использования в качестве фитомелиорантов или фиторемедиантов (очистителей) почв. Информация о выносе и возврате изучаемых элементов позволяет нам судить об интенсивности обеднения почв тем или иным элементом, что в свою очередь, позволяет своевременно вносить коррективы в их круговорот. Интенсивность выноса, особенно тех элементов, которые не вносятся с традиционными удобрениями (S, Mo, B, Zn и другие), как известно, может увеличиваться при повышении урожайности и длительном и бессменном выращивании культур, обладающих повышенным спросом на данные

элементы. Так, например, специализация растениеводства юга Дальнего Востока России на выращивании сои в течение ста лет, которая в отдельные периоды занимала от 30 до 40 % пахотных почв, привела к дефициту молибдена, серы, и частично бора, особенно на легких и известкованных почвах. Недостаток серы повсеместно усилился после прекращения производства и применения таких удобрений, как сульфат аммония и простой суперфосфат, содержащих до 24 % серы. Дефицит бора был обнаружен на известкованных почвах [1].

Ранее нами было установлено, что вынос большинства изученных питательных элементов и ТМ подчиняется определенной закономерности. Она заключается в том, что агрохимически активные элементы, накапливающиеся преимущественно в продуктивной (зерно и др.) части урожая, которая отчуждается с поля (60 % и более от общего накопления растением), быстрее обедняют почву этим элементом и возникает необходимость ежегодного внесения соответствующих удобрений (N, P, S, Mo). Элементы, накапливающиеся равномерно в продуктивной (40–60 %) и побочной продукции, такие как бор и калий, следует вносить в виде удобрений периодически, по мере необходимости. Что же касается таких элементов, как марганец, олово, никель и других ТМ, которые накапливаются в корнях, как показал опыт, практически не нуждаются во внесении с удобрениями, во всяком случае, на Дальнем Востоке России [2].

Помимо различных урожаев возделываемых культур, которые определяются их биологическими особенностями, вынос элементов питания будет зависеть от соотношения биологического или общего (накопление элемента всей биомассой растений) и хозяйственного выноса (накопление элементов продуктивной или точнее отчуждаемой с поля части урожая). Такие культуры, как морковь, свекла, лоба и другие при уборке отчуждают с

поля практически всю биомассу, и если надземную часть (листья) не возвращают в почву, то величина биологического и хозяйственного выноса будет одна и та же. Естественно, что при возделывании таких культур интенсивность истощения почв питательными элементами будет выше, чем при выращивании, например, злаковых или бобовых культур, которые выносят элементы только частью накопленной биомассы. Существуют культуры более урожайные, которые могут интенсифицировать вынос элементов питания. К примеру, урожай биомассы пшеницы или овса с единицы площади в любом случае будет ниже урожая кукурузы или картофеля.

На соотношение продуктивной и непродуктивной частей урожая для одной и той же культуры могут влиять сорт, гидротермические условия года. Известно, например, что в засушливые годы корневая система развивается более интенсивно в поисках влаги. Вынос элементов может меняться и от условий питания культур. Избыток азота, как правило, стимулирует более интенсивный рост вегетативной массы, а фосфора и бора – генеративных органов и т. д. [3].

Целью наших исследования было определение величины выноса и накопления в различных фракциях урожая макро- и микроэлементов, включая ТМ, при возделывании сои на основных почвах юга Дальнего Востока. В данной статье обсуждаются результаты изучения круговорота трех элементов: азота, цинка и олова на почвах Амурской области, которые не вошли в ранее опубликованные (в 2009 и 2011 гг.) нами статьи в ж. «Масличные культуры: Научно-технический бюллетень ВНИИМК». Приведенные в статье материалы являются продолжением опубликованных ранее результатов изучения круговорота питательных элементов, включая микроэлементы и ТМ.

Материалы и методы. Исследования проводились на лугово-черноземовидных почвах Амурской области, составляющих

около 35 % всего пахотного фонда, в длительном опыте на агрохимическом стационаре ВНИИ сои. Это наиболее плодородные почвы Дальнего Востока с высоким содержанием гумуса (от 3 до 7 %), слабокислой реакцией (pH_{HCl} 5,3). Содержание основных элементов питания (кроме молибдена) достаточное для возделывания сои (табл. 1). Злаковые культуры хорошо отзываются на внесение азота и фосфора. Содержание микроэлементов либо высокое, либо оптимальное. Исключение составляет молибден, сера и бор (по фону извести), удобрения которых бывают весьма эффективными в посевах бобовых культур.

Таблица 1

Агрохимическая характеристика почв, на которых проводились исследования по круговороту микроэлементов и тяжелых металлов в посевах сои

Название почвы, место отбора образца	Гумус, %	pH_{HCl}	Нг*, мг-экв. на 100 г почвы	V**, %	Подвижные формы элементов			
					мг/на 100 г		мг/кг	
					P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Sn
Луговая черноземовидная (Амурская обл.)	4,1	5,3	4,4	87,0	3,4	17	20,0	0,2

Примечания: *Нг – гидролитическая кислотность.

**V – степень насыщенности почв основаниями.

Опыт с длительным применением органических и минеральных удобрений, где проводились исследования, был заложен в 1962 г. и к моменту исследований (2009–2011 гг.) прошел 9 полных ротаций 5-польного севооборота. Повторность в опыте 3-кратная. Для фракционного учета урожая отбирались пробные снопы в 3-кратной повторности с площади 1 м². В опытах использовался районированный сорт сои Лидия. Азот, фосфор и калий в растительных пробах определяли по Куркаеву [4] из одной навески, микроэлементы и тяжелые металлы – атомно-абсорбционным методом с использованием спектрофотометра «Квант» и «Optima 2

DV(18 P)». Сходимость результатов анализа была вполне удовлетворительной.

Характер накопления и выноса питательных элементов у сои, как у бобового растения, в общих чертах идентичен с таковыми показателями у гороха, люцерны, фасоли, клевера и других культур. Эта культура занимает одну треть посевных площадей в регионе и поэтому данные о выносе ею тех или иных элементов могут дать общее представление о скорости истощения пахотных почв интересующими нас элементами. Вес корней учитывали вместе с частью стебля, остающегося после уборки комбайном (в среднем 5–10 см от поверхности почвы). Вес листьев у сои учитывали с 1 м² по мере их опадения с использованием марлевых опадоуловителей. Учет урожая проводили вручную при полной спелости. В таблице 2 приведены средние результаты за 3 года наблюдений (с 2009 по 2011 годы).

Для определения величины выноса элемента необходимо знать его концентрацию в каждом органе растения и вес этого органа в пересчете на гектар. Зная урожай исследуемых нами культур и концентрацию искомых элементов легко рассчитать вынос последних с отчуждаемой частью урожая и возврат их с непродуктивной частью, остающейся на поле. Для краткости мы опускаем вспомогательные таблицы, а сразу приводим величину выноса в кг/га и в % для азота; в г/га и в % для цинка и олова. Из всех элементов мы остановились на 3 элементах, по которым материалов мало и мы их не публиковали (N, Zn и Sn). Следует подчеркнуть, что исследования по накоплению и выносу тяжелых металлов (Pb, Cd, Sn, Cr и Ni) и некоторых микроэлементов (Zn, Cu, Co) возделываемыми культурами до наших исследований на Дальнем Востоке не проводились.

Результаты и обсуждение. Баланс азота. Азот является одним из основных элементов питания, определяющих продуктивность возделываемых культур, и потому чаще других становится факто-

ром, лимитирующим урожай. В изучении баланса азота в системе: «почва – микрофлора (почвенная и симбиотическая у бобовых) – удобрения – растения – животные» были приложены наибольшие усилия ученых. Однако полной и ясной картины круговорота этого элемента, как в геосфере, так и в биосфере, до сих пор не существует. Во многом это объясняется сложностью и неоднозначностью путей его миграции в указанной системе, а также несовершенством методики исследования его в разных состояниях. Большая его часть на планете находится в газообразной форме в атмосфере и в составе солей, минералов и горных пород в литосфере. Меньшая же часть, которая играет важную и определяющую роль в существовании биоты, находится в почвенных растворах, в поверхностных и грунтовых водах и в клетках живых и отмерших организмов, в основном растений и микрофлоры. Поэтому для получения более ясной картины его круговорота как геологического, так и биологического, необходимы совместные усилия не только агрохимиков и почвоведов, но и геологов, геохимиков, биогеохимиков, микробиологов и, возможно, других специалистов. Об этом более 35 лет тому назад писал Трепачев [5], но ситуация к настоящему времени, к сожалению, мало изменилась.

Баланс азота включает в себя поступление элемента с минеральными и органическими удобрениями, биологической азотфиксацией, с атмосферными осадками и с семенами, расход – вынос с полей с отчуждаемым урожаем, поеданием трав животными, с улетучиванием в форме NH₃, денитрификацией и вымыванием [6]. Мы же будем касаться только выноса азота и возврата его в почву при возделывании сои, которая на 60 % удовлетворяет потребность в азоте за счет симбиотического связывания его клубеньковыми бактериями. И в то же время отличается от других бобовых культур тем, что сбрасывает листья перед уборкой, уменьшая

тем самым отчуждение этого элемента с урожаем.

Известно, что коэффициент использования азотных удобрений практически не превышает 50 % от вносимого азота, а в посевах риса он еще ниже, что вызывает эвтрофикацию поверхностных водоемов и снижение качества грунтовых и речных вод, используемых для бытовых и промышленных целей. Одним из путей, снижающих экологические последствия применения азотных удобрений, является более широкое использование бобовых культур, а также стимуляция азотофиксирующей способности как симбиотической, так и свободноживущей микрофлоры. Есть факты, свидетельствующие о том, что дикие популяции азотофиксирующих микроорганизмов, сопутствующих некоторым генотипам ячменя и пшеницы могут различаться по интенсивности фиксации азота в сто раз [7]. В настоящее время подтверждена возможность эндофитной азотфиксации диазотрофами без образования корневых клубеньков у риса, пшеницы, кукурузы и других культур [8]. Наши исследования показали, что для повышения КПД азотных минеральных удобрений весьма перспективным оказалось применение органоминеральных удобрений, полученных по оригинальной технологии из торфа, эффективность которых была намного выше, чем минеральных [9]. Это стало возможным в основном за счет более высокой усвояемости элементов минерального питания, входящих в состав торфогуминовых удобрений, коэффициент усвоения которых в среднем составлял 90 % и более.

В любом случае нам следует знать величину выноса (с урожаем) и возврата (с побочной продукцией, осадками и удобрениями) необходимых для питания растений элементов, чтобы своевременно вносить коррективы в их круговорот.

Как показали наши исследования, азот в растениях сои к моменту уборки накапливается в семенах и соломе, т.е. в тех

органах, которые отчуждаются с поля, поэтому хозяйственный вынос для него составляет 75 % (рис. 1). Следовательно, азот относится к агрохимически активным элементам. Внесение органоминеральных удобрений (ОМУ) незначительно увеличило общий вынос азота за счет удобрений, но это не отразилось на урожае семян (табл. 2).

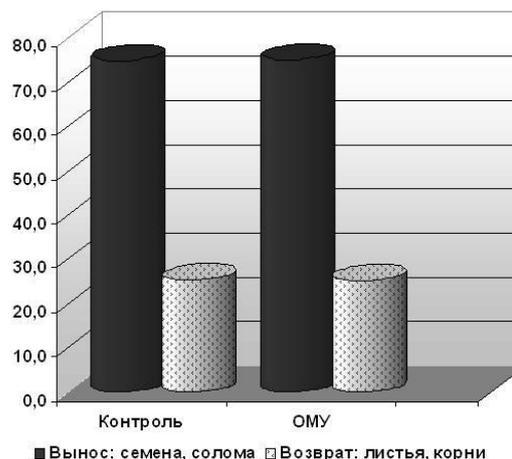


Рисунок 1 – Влияние органоминеральных удобрений (ОМУ) на баланс азота в посевах сои при длительном их внесении (в % от общего выноса).

Таблица 2

Баланс азота в посевах сои

Вариант	Контроль		Органоминеральное удобрение	
	кг/га	%	кг/га	%
Зерно	105,6	63,5	106,6	62,4
Солома	18,8	11,3	21,3	12,5
Листья	24,4	14,7	23,3	13,6
Корни	17,5	10,5	19,5	11,4
Общий вынос	166,4	100	170,7	100
Хозяйственный вынос (зерно + солома)	124,4	75,0	127,9	75,0
Возврат (листья + корни)	42,0	25,0	42,8	25,0

Хозяйственный вынос фосфора в посевах сои соответственно составил, согласно нашим исследованиям, на контроле 81,1 и при внесении органоминеральных удобрений 71,2 % [10]. Та-

ким образом, азоту и фосфору свойственно накопление в верхних растущих органах, а к концу вегетации – в генеративных, что объясняется вхождением этих элементов в состав белка и нуклеиновых кислот, которые в основном депонируются в семенах.

Баланс цинка. Содержание цинка в почвах Амурской области, как и в почвах всего юга Дальнего Востока, выше, чем в почвах западных районов России. Для почв Русской равнины кларк цинка составляет 50 мг/кг, для почв Дальнего Востока он несколько выше – 70 мг/кг. Содержание подвижного цинка в 1 н. солянокислой вытяжке также высокое и колебалось согласно результатам наших определений в почвах агрохимических стационаров Приморья и Приамурья от 19 до 46 мг/кг [2]. Причем на вариантах с внесением органоминеральных удобрений его было в 2 раза больше, однако это обстоятельство не отразилось на величине накопления элементом растением сои. Распределение цинка в растениях сои аналогично распределению азота и также максимальное его количество обнаружено в семенах (табл. 3). Хозяйственный вынос элемента (не в абсолютных величинах, а относительно его общего количества) приближается к выносу азота и фосфора и составляет 67–69 % (рис. 2).

Таблица 3

Баланс цинка в посевах сои

Вариант	Контроль		ОМУ	
	г/га	%	г/га	%
Зерно	57,4	52,3	63,4	54,7
Солома	16,3	14,9	16,2	14,0
Листья	19,8	18,0	19,3	16,7
Корни	16,2	14,8	16,9	14,6
Общий вынос	109,7	100	115,8	100
Хозяйственный вынос (зерно + солома)	73,7	67,2	79,6	68,7
Возврат (листья + корни)	36,0	32,8	36,2	31,3

Следовательно, данный элемент следует отнести к агрохимически активному, поэтому вероятность возникновения его

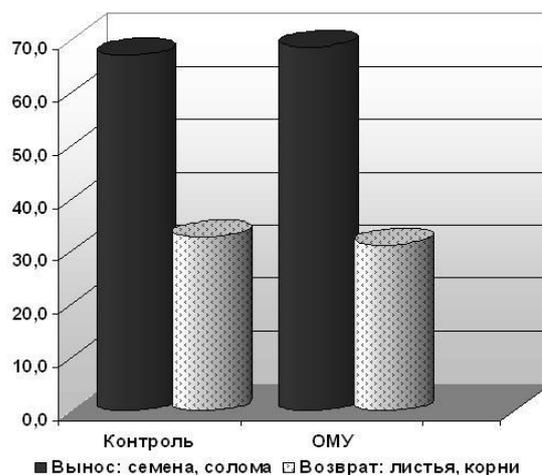


Рисунок 2 – Влияние органоминеральных удобрений (ОМУ) на баланс цинка в посевах сои при длительном их внесении (в % от общего выноса).

дефицита весьма велика. Однако следует заметить, что при систематическом внесении удобрений, особенно органических, к тому же на фоне высокого его содержания в изучаемых почвах, баланс этого элемента в агроэкосистемах Амурской области складывается положительно. Это можно заметить из приведенных в таблице 3 данных, где применение органоминеральных удобрений значительно увеличивало содержание цинка как в отдельных органах, так и общий его вынос. Аналогичное распределение у сои наблюдается и для таких элементов, как сера, молибден и медь. Так, содержание молибдена у сои с началом процесса азотфиксации увеличивается на корнях, в клубеньках, так как он входит в состав ферментов нитратредуктазы и нитрогеназы, катализирующих процесс усвоения атмосферного азота. Однако в течение вегетации топография их может меняться в зависимости от выполняемой физиологической роли и по мере созревания сои, с отмиранием клубеньков, он преимущественно накапливается в семенах. Это справедливо для тех элементов, куда следует отнести цинк, которые способны к реутилизации в растениях. Такие элементы, как бор или кальций, не реутилизи-

руются и поэтому распределяются в растениях более равномерно, относясь к агрохимически среднеактивным элементам.

Таким образом, жизненно необходимые элементы питания (N, P, K, Zn, Mo, S и др.) обладают высокой агрохимической активностью, накапливаясь в продуктивной части урожая и энергичнее других элементов обедняют почву. Следовательно, корректировка питания сои в отношении этих элементов должна быть приоритетной.

Баланс олова. Олово принадлежит к числу рассеянных химических элементов, так как общая тенденция геохимии этого элемента в биосфере – рассеяние, хотя существуют как водные, так и сухопутные растения, способные к его накоплению [11]. Коэффициент биологического поглощения (отношение содержания элемента в золе растений к его содержанию в земной коре) для олова по Перельману составляет 1,85 [12]. Это значительно ниже, чем у бора (50), цинка (19,6) и молибдена (9,2), но выше, чем у никеля (1,5), хрома (1,0) и титана (0,2). Кларк олова для почв России составляет 10 мг/кг. Данных по содержанию олова в почвах Дальнего Востока очень мало. Те единичные источники, которые нам удалось найти, свидетельствуют о том, что в почвах гидроморфного ряда (луговых глеевых и торфяных болотных), которые составляют около половины всех пахотнопригодных почв юга Дальнего Востока, олова содержится очень мало. Так, по данным Ивашова [13], в луговых глеевых почвах Среднеамурской равнины содержание валового олова колеблется от следов до 3 мг/кг, т.е. значительно меньше величины кларка. По данным других исследователей [14], в торфяных болотных почвах Приморья содержание данной формы олова, в зависимости от гранулометрического состава подстилающих пород, колеблется от 0,4 до 9,6 мг/кг. Причем основной массив данных попадает в интервал от 2 до 5 мг/кг. И несмотря на это, соя накапливает значи-

тельные количества олова (табл. 4), сопоставимые с бором и марганцем.

Таблица 4

Баланс олова в посевах сои

Вариант	Контроль		ОМУ	
	г/га	%	г/га	%
Семена	63,0	10,6	55,3	10,4
Солома	46,5	7,9	41,1	7,7
Листья	123,7	20,9	106,2	20,0
Корни	358,7	60,6	328,7	61,9
Общий вынос	591,9	100	520,9	100
Хозяйственный вынос (семена + солома)	109,5	18,5	96,4	18,1
Возврат (листья + корни)	482,4	81,5	424,5	81,9

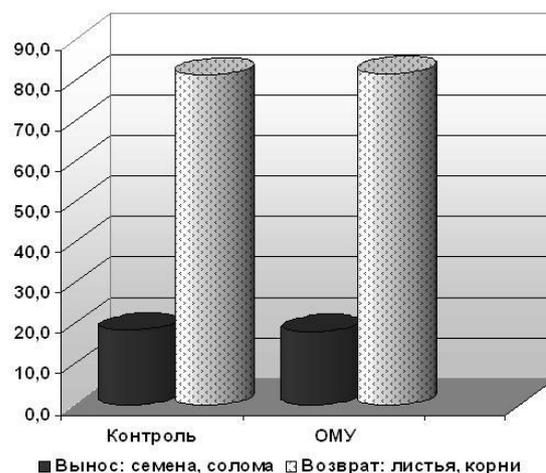


Рисунок 3 – Влияние органоминеральных удобрений (ОМУ) на баланс олова в посевах сои при длительном их внесении (в % от общего выноса).

Количество олова, накапливающаяся в конечных фракциях урожая сои, свидетельствуют о том, что распределение этого элемента происходит согласно акропетальному градиенту концентрации как у большинства ТМ, т.е. его концентрация убывает снизу вверх (от корней к стеблям и семенам), (рис. 3). Следовательно, олово относится к элементам, согласно нашей градации, с низкой агрохимической активностью.

Выводы: 1. Основное количество азота у сои к моменту уборки накапливается в семенах (62-65 %), далее по убывающей следуют листья, стебли и корни. Хозяйственный вынос этого элемента составляет 75 %, возврат с пожнивными остатками и листьями составил 25 %. Удобрения не повлияли на содержание азота в основных фракциях урожая. Азот является элементом, для которого характерна высокая агрохимическая активность, которая не приводит к быстрому истощению почв, как в посевах зерновых культур, благодаря симбиотической фиксации этого элемента клубеньковыми бактериями.

2. Хозяйственный вынос цинка у сои составляет 67–69 %, поэтому он является агрохимически активным элементом. Внесение органоминеральных удобрений увеличивает содержание подвижных форм этого элемента в почвах и поступление его в растения сои. Основное количество цинка у сои (52–55 %) депонируется в генеративных органах, поскольку он входит в состав многих ферментов, необходимых в момент прорастания семян.

3. Олово как типичный тяжелый металл накапливается в корнях сои (60–62 %), поэтому он относится к группе агрохимически малоактивных элементов. Физиологическая роль олова в растениях до сих пор остается малоизученной, несмотря на значительное накопление его в культурных растениях.

Список литературы

1. Голов, В.И. Влияние известкования на подвижность микроэлементов в почвах Дальнего Востока и эффективность микроудобрений / В.И. Голов // Пути повышения продуктивности растениеводства, кормопроизводства и садоводства на Дальнем Востоке. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. – С. 28–37.

2. Голов, В.И. Круговорот серы и микроэлементов в основных агроэкосистемах Дальнего Востока / В.И. Голов. – Владивосток: Дальнаука, 2004. – 316 с.

3. Олифер, В.А. Биологическая продуктивность и круговорот элементов питания в посевах яровой пшеницы на черноземах Алтайского края / В.А. Олифер // Агрохимия. – 1973. – № 11. – С. 60–65.

4. Куркаев, В.Т. Агрохимия: Учебное пособие / В.Т. Куркаев, А.Х. Шеуджен. – Майкоп, ГУРИПП «Адыгея», 2000. – 552 с.

5. Трепачев, Е.П. О методике исследования азотного баланса почвы в длительных опытах / Е.П. Трепачев // Почвоведение. – 1976. – № 3. – С. 137–149.

6. Bouwman, A.F. Global and regional surface nitrogen balances in intensive agricultural production systems for the period 1970-2030 / A.F. Bouwman., G. Van Drecht, Van der Hoek // Pedosphere. – 2005. – V. 15. – № 2. – P. 137–155.

7. Черемисов, Б.М. Концепция быстрого перехода мирового земледелия на биологическую фиксацию азота атмосферы / Б.М. Черемисов // Аграрная наука. – 2000. – № 9. – С. 10–11.

8. Cocking, E.C. Helping plants get more nitrogen from the air / E.C. Cocking // European Review. – 2000. – V. 8. – № 2. – С. 193–200.

9. Голов, В.И. Эффективность новых торфогуминовых удобрений на почвах Дальнего Востока / В.И. Голов, А.Н. Тимофеев, Т.А. Асеева // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010. – № 3. – С. 36–38.

10. Голов, В.И. Особенности поглощения и выноса элементов питания и тяжелых металлов растением сои / В.И. Голов // Масличные культуры: Науч.-техн. бюл. ВНИИМК. – 2009. – Вып.1(140). – С. 96–100.

11. Добровольский, В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние / В.В. Добровольский. – М.: Мысль, 1983. – 272 с.

12. Перельман, А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза / А.И. Перельман. – М.: Недра, 1972. – 288 с.

13. Ивашов, П.В. Микроэлементный состав луговых глеевых почв Средне-амурской равнины / П.В. Ивашов // Микроэлементы в антропогенных ландшафтах Дальнего Востока. Сборник научных трудов. – Владивосток, 1985. – С. 47–63.

14. *Дюкарев, В.Н.* Микроэлементы в торфоземах Приморья / В.Н. Дюкарев, В.Г. Малоглавец, В.И. Ознобихин // Микроэлементы в антропогенных ландшафтах Дальнего Востока. Сборник научных трудов. – Владивосток, 1985. – С. 69–87.