

УДК 631.416.9

## СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОФИЛЬНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВАХ ПОЙМ КРУПНЫХ РЕК ЗЕЙСКО-СЕЛЕМДЖИНСКОЙ РАВНИНЫ

**Мартынов А.В.**

*ФГБУН «Институт геологии и природопользования» Дальневосточного отделения Российской академии наук, Благовещенск, e-mail: lexh\_1981@list.ru*

Рассмотрено содержание биофильных элементов в аллювиальных и остаточно-аллювиальных почвах пойм рек Зея и Селемджа в пределах Зейско-Селемджинской равнины Амурской области. С помощью факторного анализа определено влияние гранулометрического состава, реакции среды, насыщенных оснований и органического вещества на характер аккумуляции микроэлементов. Выполнена оценка обеспеченности аллювиальных почв микроэлементами в сравнении с кларком почв мира. В исследуемых аллювиальных почвах установлен дефицит фтора и очень высокое содержание стронция. Определено, что регулирование речного стока в нижнем бьефе р. Зея Зейской ГЭС привело к снижению миграционной способности большинства биофильных микроэлементов с последующим их накоплением. Установлено, что преобладающими факторами в распределении биофильных микроэлементов в аллювиальных почвах служат реакция среды и органическое вещество.

**Ключевые слова:** аллювиальные почвы, пойма, биофильные микроэлементы, р. Зея, р. Селемджа

## CONTENT AND DISTRIBUTION BIOPHIL TRACE ELEMENTS IN ALLUVIAL SOIL OF FLOODPLAIN OF MAJOR RIVERS ON ZEYA-SELEMDJA PLAIN

**Martynov A.V.**

*Institute of Geology and Nature Management Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Blagoveshchensk, e-mail: lexh\_1981@list.ru*

Considered contents of trace biophil elements in alluvial and residual-alluvial soil on floodplain of rivers Zeya and Selemdja within Zeya-Selemdja plain in Amur region. Effect of granulometric composition, pH, saturated foundation and organic matter contents on patterns of accumulation of trace elements were revealed by using factor analysis. Evaluation of allowance of soils with trace elements by comparing with clark of soils of the world. Scarcity of fluorine and surplus of strontium were revealed in studying alluvial soil. Regulation of river flow by hydroelectric dam result in decreasing of migration ability and accumulation of most trace biophil elements. Predominant factors affecting distribution trace biophil elements in alluvial soil are pH and organic matter.

**Keywords:** alluvial soils, floodplain, biophil micronutrients, Zeya River, Selemdzha River

Биофильные микроэлементы – элементы, поглощаемые живыми организмами из окружающей среды и используемые ими в процессах жизнедеятельности, т.е. принимающие активное участие в формировании жизни на планете. Поэтому изучение содержания и поведения биофильных элементов в различных природных ландшафтах весьма актуальная проблема. Среди разнообразия ландшафтов поймы рек занимают особое место в биосфере, так как в них условия для круговорота химических элементов во многом зависят от пойменных и аллювиальных процессов. По сути, поймы – природные дренажи, по которым с суши в моря и океаны переносится огромное количество макро- и микроэлементов. Поэтому почвы пойм (аллювиальные почвы) служат хорошим индикатором при оценке загрязнения ландшафтов, при поиске геохимических ареалов, свидетельствующих о месторождениях полезных ископаемых или при изучении фоновое содержания элементов [5, 9].

### Материалы и методы исследования

Исследуемая территория согласно схеме гидрологического районирования бассейна верхнего Амура расположена в пределах Зейско-Селемджинской равнины,

которая, в свою очередь, занимает центральную и северную часть Амурско-Зейской равнины – крупнейшей межгорной депрессии в России [12]. Литологический состав отложений, формирующий аллювиальные почвы пойм исследуемой территории, разнообразен – пески, глины, торфа, галечник, но по минералогическому составу они преимущественно аркозитовые, т.е. состоят из продуктов выветривания вулканических и интрузивных пород кислого и среднего состава, а также метаморфических пород различного типа [8].

Закладка разрезов, представляющих основные типы почв, формирующих почвенный покров пойм исследуемой территории, осуществлялась в среднем течении р. Зея и нижнем течении р. Селемджа. Название типов почв давались в соответствии с Классификацией и диагностикой почв России от 2004 г [13]. Так как исследуемая территория не затронута различными видами антропогенного воздействия, способными изменять напрямую элементный состав почв, то полученные данные позволяют оценить природное фоновое содержание микроэлементов.

Определение микроэлементов (F, Cu, Zn, Mo, Ni, Co, V, Sr) производилось рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 Simadzu в аналитическом центре ИГиП ДВО РАН. Определение свойств почв проводилось общепринятыми в почвоведении методами: гранулометрический состав – методом пипетки по Н.А. Качинскому с пиррофосфатом натрия; актуальная и потенциальная кислотности – потенциометрически; обменная кислотность

и подвижный алюминий методом А.В. Соколова; обменный кальций и магний – комплексометрическим методом по К.К. Гедройцу; органический углерод – методом мокрого озоления по И.В. Тюрину в модификации Б.А. Никитина [1, 2].

Расчёт кларка концентрации (КК) элементов в почвах производился по формуле  $КК = C_j/K$ , где  $C_j$  – содержание микроэлемента в почвах;  $K$  – среднее содержание элемента в почвах мира [10].

Для выявления почвенных факторов, влияющих на миграционные способности микроэлементов, использовался статистический метод, относящийся к факторному анализу – метод главных компонент [3]. Использование данного метода позволяет найти такие комплексные факторы, которые как можно более полно объясняют наблюдаемые связи между исследуемыми переменными, к которым в нашем случае относятся микроэлементы, обменная кислотность, гранулометрический состав, углерод органического вещества и насыщенные основания.

Геохимические индексы составлялись в виде ранжированных дробных показателей, где возле дробной черты – микроэлементы с околочларковыми значениями ( $КК = 1,1-0,9$ ), в числителе – микроэлементы с содержанием выше кларка ( $КК > 1,2$ ), в знаменателе – микроэлементы с содержанием ниже кларка ( $КК < 0,9$ ) [11].

В исследуемых аллювиальных почвах выделяется четыре основных типа формирующих почвенный покров пойм. В пойме р. Селемджа это – аллювиальные серогумусовые, аллювиальные, серогумусовые глеевые и аллювиальные торфяно-глеевые почвы. В пойме р. Зeya регулирование речного стока Зейской ГЭС ослабило гидроморфные процессы в пойме, что привело к уменьшению площадей занимаемых гидроморфными аллювиальными серогумусовыми глеевыми и торфяно-глеевыми почвами и развитию в пределах поймы бурозёмов примитивных остаточных аллювиальных. Таким образом, все почвы можно разделить на две группы: автоморфные (аллювиальные серогумусовые и бурозёмы остаточных аллювиальных) и гидроморфные (аллювиальные серогумусовые глеевые и торфяно-глеевые почвы). Для автоморфных почв характерны кислая – близкая к нейтральной реакция среды, песчаный-супесчаный гранулометрический состав, ёмкость катионного обмена (ЕКО) от 7 до 20 мг·экв/ на 100 г с преобладанием в её составе катионов кальция и магния, содержание углерода органического вещества от 5–10% в гумусово-аккумулятивных горизонтах до 1–2% в минеральных. В гидроморфных почвах реакция среды варьирует от сильно кислой до кислой, гранулометрический состав от супесчаного до легкоголинистого, ЕКО от 15 до 40 мг·экв/100 г с преобладанием в её составе катионов магния и алюминия, углерод-органического вещества от 3–8% в гумусово-аккумулятивных и органических горизонтах до 1–5% в минеральных.

Характеристика свойств аллювиальных почв позволяет предположить накопление в гидроморфных почвах микроэлементов, для которых гранулометрический состав и реакция среды служат геохимическими барьерами, а в автоморфных почвах возможна их биоаккумуляция.

#### Результаты исследования и их обсуждение

**Фтор.** В аллювиальных почвах пойм рек Зeya и Селемджа содержание фтора варьирует от 60 до 270 мг/кг (таблица). Максимальное его содержание отмечается в глеевых

горизонтах аллювиальных торфяно-глеевых почв, минимальное – в органогенных и песчаных горизонтах, т.е. фтор аккумулируется в горизонтах с высоким содержанием глинистых и илистых фракций. Это подтверждает факторный анализ, где значения содержания фтора и физической глины лежат в одной плоскости, т.е. положительно коррелируют друг с другом, и соответствует литературным данным, по которым фтор активно сорбируется глинистыми минералами (рисунок). Кларк концентрации фосфора и в почвах р. Зeya, и в почвах р. Селемджа составляет 0,38, что позволяет говорить о дефиците фтора в аллювиальных почвах на исследуемой территории. Это обусловлено кислой реакцией аллювиальных почв, обуславливающей переход фтора из малоподвижных соединений в легкорастворимые флюориды, вымываемые грунтовыми и речными водами, хотя аркозный состав аллювия говорит о изначально высоком содержании валового фтора [6].

**Медь.** Содержание меди в исследуемых аллювиальных почвах пойм рек Зейско-Селемджинской равнины в среднем составляет 28 мг/кг с небольшим превышением в почвах поймы р. Зeya. Во всех типах почв схожее содержание меди. Несмотря на то, что для меди характерна биоаккумуляция, в аллювиальных почвах её накопление в гумусово-аккумулятивных и торфяных горизонтах, по отношению к минеральным горизонтам, выражено слабо. Это может быть связано с вымыванием органических веществ и связанных с ними ионов меди с поёмными и грунтовыми водами. Средневзвешенная концентрация меди в исследуемых почвах по отношению к почвам мира околочларковая.

**Цинк.** Результаты факторного анализа показывают, что цинк в аллювиальных почвах взаимодействует с насыщенными основаниями, но связь эта выражена слабо. Из распределения цинка по почвенному профилю видно, что его максимальное содержание наблюдается в гумусово-аккумулятивных горизонтах автоморфных почв, а минимальное – в минеральных горизонтах с песчаным гранулометрическим составом и в глеевых горизонтах, т.е. цинк накапливается в горизонтах с высокой ёмкостью катионного обмена, но с близкой к нейтральной реакцией среды. Это связано с ослаблением адсорбции цинка при низких значениях рН, за счёт конкуренции с другими ионами, что приводит к его выщелачиванию из кислых почв [4, 6]. В целом среднее содержание цинка в исследуемых почвах составляет от 95 мг/кг в почвах поймы р. Селемджа до 108 мг/кг в почвах поймы р. Зeya, что превышает среднемировые показатели почти в 1,5 раза.

Содержание биофильных элементов в аллювиальных почвах пойм рек Селемджа и Зея

Тип почвы	Индекс	Глубина	Микроэлементы, мг/кг							
			F	Cu	Zn	Mo	Sr	Co	V	Ni
р. Селемджа										
Аллювиальная серогумусовая глеевая почва	AY1	0–8	113	39	156	4,1	283	20	103	48
	AY2g	10–15	116	26	80	3,2	251	14	96	39
	G	15–25	150	23	78	2,7	184	11	91	31
	Cg~	30–35	117	28	88	3,3	227	14	95	37
	Dg~	55–60	140	24	83	3	209	14	87	35
Аллювиальная серогумусовая почва	AY1	0–4	137	34	143	3,3	261	15	95	39
	AY2	5–10	120	31	119	3,9	248	15	99	41
	C~	25–30	120	22	73	3,8	270	12	80	40
	C~	45–50	62	25	72	3,6	331	14	86	39
	Dg~	75–80	147	28	100	3	195	16	94	36
Аллювиальная торфяно-глеевая почва	T	0–5	123	25	82	3,3	233	13	89	35
	G	20–25	111	28	95	3,1	205	13	87	38
	G	40–45	167	23	81	2,9	195	13	87	34
	CG	70–75	100	23	86	3,2	224	16	93	34
Среднее			123	27	95	3,3	237	14	92	38
р. Зея										
Аллювиальная торфяно-глеевая почва	Tmd	0–5	184	40	77	3,2	418	17	104	43
	G	20–25	272	29	81	2,9	394	20	113	41
	Cg[hh]	50–55	160	32	89	3	453	18	113	41
	Dg~	70–75	127	31	93	2,7	423	17	116	39
Аллювиальная серогумусовая почва	AY1	0–3	65	33	154	4,7	938	17	105	47
	AY2	5–10	99	29	129	4,4	882	16	100	43
	C~	30–35	129	22	89	4	922	15	96	43
	D1~	50–55	60	21	73	4,2	997	14	86	42
	D2~	80–85	100	23	88	4,4	909	17	100	44
Бурозём примитивный остаточно-аллювиальный	AYo	0–5	108	34	201	4,3	738	16	102	47
	AY	5–10	108	28	154	4,2	687	17	100	43
	BM1	15–20	127	33	124	4,1	632	16	106	53
	BM2	40–45	101	27	111	4,8	842	18	104	55
	C~	70–80	73	18	48	4,1	841	11	71	37
Среднее содержание			122	29	108	3,9	719	16	101	44
Среднее содержание в почвах мира*			320	33	71	2	210	8,5	90	20

Пр и м е ч а н и е . \*Данные даны по Кабата-Пендиас (1989).

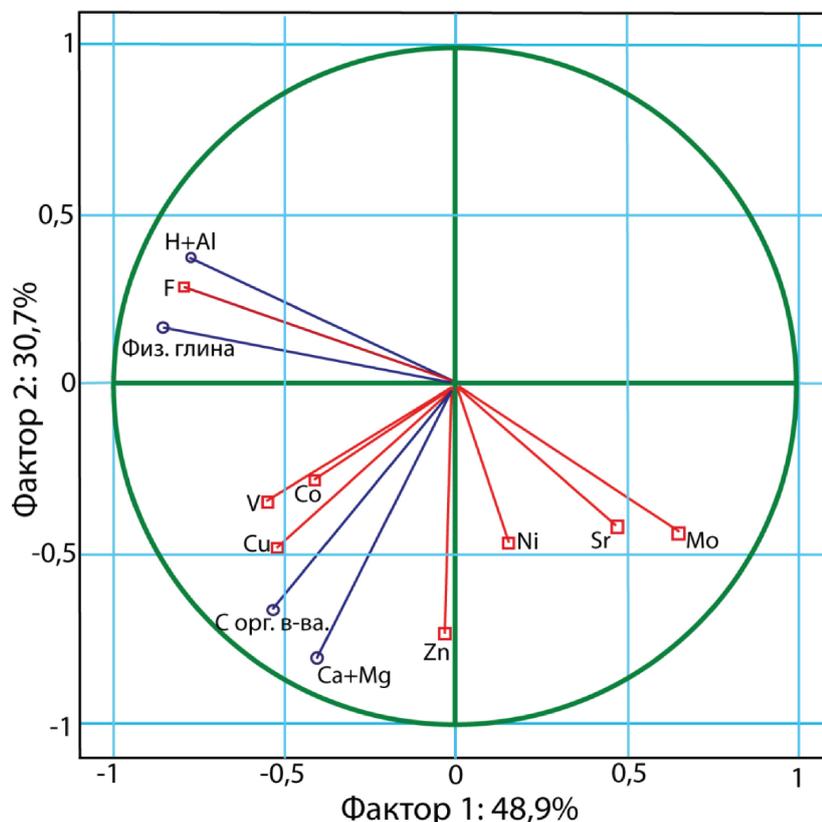
**Молибден.** Содержание молибдена в исследуемых аллювиальных почвах варьирует от 2,9 до 4,8 мг/кг, что в среднем превышает кларк почв мира в 1,5 раза (таблица; рисунок). По всей вероятности это связано с составом аллювия, который преимущественно представлен продуктами разрушения кислых пород. Распределение по почвенному профилю находится в сильной отрицательной зависимости от обменной кислотности, что противоречит существующему положению о слабой растворимости молибдена в кислых почвах. Подобное явление обусловлено способностью молибдена в восстановительной среде, характерной для аллювиальных

торфяно-глеевых и серогумусовых глеевых почв, формировать (несмотря на кислую реакцию среды) подвижные соединения и мигрировать с грунтовыми водами [4, 6, 7].

**Стронций.** Среднее содержание Sr в аллювиальных почвах поймы р. Селемджа по отношению к почвам мира сопоставимо. В аллювиальных почвах поймы р. Зея содержание стронция превышает его содержание в почвах поймы р. Селемджа в 3 раза. Так как стронций находится в сильной взаимосвязи с реакцией среды почвенного раствора, то можно сделать предположение, что снижение кислотности в почвах поймы р. Зея в результате их осушения

посредством регулирования речного стока Зейской ГЭС привело к снижению миграционной активности стронция и его накоплению (рисунок) [6]. К тому же соединения Sr в почве хорошо растворимы в воде, и в аллювиальных почвах р. Селемджа, где

грунтовые воды залегают неглубоко и часто промывают почвенный профиль, он интенсивно вымывается. В целом содержание стронция варьирует в различных типах аллювиальных почв Зейско-Селемджинской равнины от 180 до 950 мг/кг почвы.



*Проекция коррелирующих переменных содержания микроэлементов и свойств аллювиальных почв пойм рек Селемджа и Зeya на факторную плоскость*

**Кобальт.** Преобладающим фактором, обуславливающим распределение кобальта в аллювиальных почвах, служит органическое вещество (рисунок) [4, 6, 7]. Другие свойства почв особой роли в механизме его миграции не играют, так как его содержание во всех минеральных горизонтах почти одинаково. Среднее содержание в аллювиальных почвах 15 мг/кг, что в 1,5 раза выше его среднего содержания в почвах мира, что необычно для Зейско-Селемджинской равнины, т.к. кобальт – элемент ультраосновных пород, которых на данной территории очень мало.

**Ванадий.** Подобно кобальту и меди ванадий формирует средневыраженную зависимость своего содержания от органического вещества, так как аккумулируется преимущественно в гумусово-аккумулятивных и глеевых горизонтах (таблица, рисунок). В минеральных горизонтах содержание ванадия относительно равномерно.

В исследуемых почвах его содержание варьирует от 70 до 115 мг/кг, что соответствует среднемировому содержанию.

**Никель.** Из изучаемых биофильных элементов лишь Ni не формирует каких-либо взаимосвязей с рассматриваемыми свойствами почв. Тем не менее его расположение в факторной плоскости вместе со стронцием и молибденом указывает, что характер его аккумуляции в определённой мере зависит от реакции среды (рисунок, таблица). Можно предположить, что реакция среды влияет косвенно через оксиды железа и марганца, которые при окислительных условиях сорбируют никель. Однако в восстановительных условиях, при которых наблюдается более кислая реакция среды, сорбционная способность оксидов железа и марганца снижается [6]. Это подтверждается накоплением никеля в структурно-метаморфическом горизонте бурозёма остаточно-аллювиального, где в соответствии

с процессами буроземообразования идёт аккумуляция оксидов железа (таблица). Содержание никеля в исследуемых почвах в среднем 38–44 мг/кг почвы, что в 2 раза выше, чем средние значения по почвам мира. Как и кобальт, никель – элемент ультраосновных пород, поэтому его аккумуляция в почвах, сложенных из аркозитового аллювия, достаточно необычна.

### Заключение

Результаты исследования позволяют отобразить обеспеченность аллювиальных почв рек Зeya и Селемджа биофильными микроэлементами посредством геохимических индексов:

Геохимический индекс аллювиальных почв поймы р. Селемджа:

$$Sr1.1, V1.0 \frac{Zn1.3, Mo1.7, Co1.8, Ni1.9}{F0.4, Cu0.8}$$

Геохимический индекс аллювиальных почв поймы р. Зeya:

$$V1.1, Cu0.9 \frac{Zn1.5, Mo2.0, Sr3.4, Co1.9, Ni2.2}{F0.4}$$

Содержание всех биофильных микроэлементов, кроме фтора, выше в аллювиальных почвах поймы р. Зeya. Возможно, это связано со снижением миграционной способности микроэлементов в результате уменьшения кислотности и гидроморфизма в аллювиальных почвах, что обусловлено регулированием речного стока Зейской ГЭС.

По характеру аккумуляции на геохимических барьерах определяемые микроэлементы можно разделить на обладающие выраженной биоаккумуляцией – Cu, V, Co; зависящие от реакции среды и окислительно-восстановительных условий – Ni, Sr, Mo; аккумулирующиеся за счёт сорбции глинистыми и илистыми веществами – F; связанные с ёмкостью катионного обмена – Zn. Природа аккумуляции никеля выяснена не до конца.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-05-31052 мол\_a и ДВО РАН 14-III-B-09-219.*

### Список литературы

1. Агрохимические методы исследования почв / под ред. А.В. Соколова. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
2. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Моск. ун-т, 1970. – 487 с.
3. Бююль Ахим, Цёфуль Петер. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей. – СПб.: Изд-во. ДиаСофтЮП, 2005. – 608 с.
4. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: Изд-во. АН СССР, 1957. – 238 с.
5. Добровольский Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. – М.: Изд-во. МГУ, 1968. – 296 с.
6. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Изд-во. Мир, 1989. – 439 с.

7. Ковда В.А., Якушевская И.В., Тюрюканов А.Н. Микроэлементы в почвах Советского Союза. – М.: Изд-во. МГУ, 1959. – 67 с.

8. Никольская В.В., Григорьев Д.П., Насулич Л.Ф. Зейско-Буреинская равнина. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 134 с.

9. Почвы и первичная продуктивность пойм рек Центральной России / И.Т. Кузьменко, М.П. Павлова, Р.Т. Богомолова и др. – М.: Наука, 1977. – 148 с.

10. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Изд-во. Высш. шк., 1981. – 528 с.

11. Прохорова Н.В. Ландшафтный подход в региональных эколого-геохимических исследованиях // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т.6, № 2, 2004. – С. 259–265.

12. Ресурсы поверхностных вод СССР / под ред. А.П. Муранова – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1966. – Т. 18. – 782 с.

13. Шишов Л.Л., Тонконогих В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.

### References

1. Agrochemical methods of soil investigation / edited by A.V. Sokolov. Moscow: Publisher Science, 1975. 656 p.
2. Arinushkina E.V. Manual on chemical analysis of soil. Moscow: Publisher Moscow State University, 1970. 487 p.
3. Achim Buhl, Peter Zofel. SPSS: skills of information processing. Data statistical analysis and revealing of hidden regularities. Petersburg: Publisher DiaSoftUP, 2005. 608 p.
4. Vinogradov A.P. Geochemistry of rare and scattered chemical elements in soils. Moscow: Publisher AN USSR, 1957, 238 p.
5. Dobrovolsky G.V. Soils of floodplains in central Russkaya plain. Moscow: Publisher Moscow State University, 1968. 296 p.
6. Kabata-Pendias A., Pendias X. Trace elements in soils and plants. Moscow: Publisher World, 1989. 439 p.
7. Kovda V.A., Yakushevsky I.V., Tyuryukanov A.N. Trace elements in USSR soils. Publisher Moscow State University, 1959. 67 p.
8. Nikolskaya V.V., Grigoryev D.P., Nasulich L.F. Zeya-Bureya plain. Moscow: Publisher AN USSR, 1958. 134 p.
9. Soils and primary productivity of floodplains of rivers in Central Russia / I.T. Kuzmenko, M.P. Pavlova, R.T. Bogomolova and others. Moscow: Publisher Science, 1977. 148 p.
10. Perelman A.I. Geochemistry. Moscow: Publisher High School, 1981. 528 p.
11. Prokhorov N.V. Landscape approach in regional ecological-geochemical investigations // Proceedings of the Samara Scientific Center Russian Academy of Sciences, volume 6, no. 2, 2004. pp. 259–265.
12. Resources of surface water of USSR / edited by A.P. Muranova Leningrad: Hydrometeorological Publisher, 1966. Vol. 18. 782 p.
13. Shishov L.L., Tonkonogih V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. Classification and diagnosis of soil of Russia. Smolensk: Publisher Ojkumena, 2004. 342 p.

### Рецензенты:

Костенков Н.М., д.б.н., профессор, зав. сектором почвоведения и экологии почв, ФГУН «Биолого-почвенный институт» Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток;

Пуртова Л.Н., д.б.н., доцент, зав. сектором органического вещества почвы, ФГУН «Биолого-почвенный институт» Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток.

Работа поступила в редакцию 18.04.2014.