УДК 502.53

РУБКИ УХОДА В ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВАХ ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА КАК ФАКТОР МИГРАЦИИ ЖЕЛЕЗА В ПОЧВЕ

Несговорова Н.П., Савельев В.Г., Калегина А.В.

ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», Курган, e-mail: geograf@kgsu.ru

Статья посвящена исследованию влияния рубок ухода на межфазовые (твердая фаза, почвенный поглотительный комплекс) переходы и процессы вертикальной миграции железа как одного из компонентов химического состава в почвах природного зоологического заказника. Актуальность работы обусловлена важностью создания и поддержания в жизнеспособном состоянии охраняемых территорий, ролью почвы в конкретном природном сообществе и влиянием на природный комплекс хозяйственной деятельности, даже если она проводится в целях «улучшения состояния сообщества». Основное противоречие рассматриваемой проблемы состоит в том, что известны основные особенности миграции железа в почве и факторы, управляющие данными процессами, однако применимо к почве конкретного региона со своеобразием природно-климатических условий, к которым относим лесостепное Южное Зауралье, Белозерский природный зоологический заказник, проводимая в нем хозяйственная деятельность и ее последствия не выявлены. Рассмотрение проблемы осуществляется на фоне влияния факторов различной природы на миграционные процессы железа в почве. Теоретическое обоснование и сравнительный анализ теоретической модели влияния факторов различной природы, построенной на материалах предыдущих самостоятельных научных исследований и работ российских и зарубежных ученых и модели, созданной в результате обобщения настоящих исследований, показали определенное сходство данных моделей и их различие. Оно может быть объяснено: а) влиянием хозяйственной деятельности на природные сообщества (рубок ухода); б) совокупностью природных условий лесостепного (Южного) Зауралья. Результаты исследования подтверждают предположение о том, что рубки ухода не только изменяют характер растительности на подвергнутых им территориях, но и оказывают влияние на миграцию железа в почве.

Ключевые слова: миграция железа в почве, факторы миграционных процессов, модели миграции железа, хозяйственная деятельность в природном заказнике

CARE CUTTERS IN FOREST COMMUNITIES OF NATURAL RESERVATION AS A FACTOR OF IRON MIGRATION IN SOIL

Nesgovorova N.P., Savelev V.G., Kalegina A.V.

Kurgan State University, Kurgan, e-mail: geograf@kgsu.ru

The article is devoted to the study of the effect of thinning on interphase (solid phase, soil absorption complex) transitions and processes of vertical migration of iron as one of the components of the chemical composition in the soils of the natural zoological reserve. The relevance of the work is due to the importance of creating and maintaining protected areas in a viable state, the role of the soil in a particular natural community and the impact on the natural complex of economic activity, even if it is carried out in order to «improve the state of the community». The main contradiction of the problem under consideration is that the main features of iron migration in soil and the factors controlling these processes are known, however, it applies to the soil of a particular region with the peculiarities of the natural and climatic conditions to which the forest-steppe Southern Trans-Urals, the Belozersky zoological reserve, the economic activity conducted in it and its consequences are not identified. Consideration of the problem is carried out against the background of the influence of factors of different nature on the migration processes of iron in the soil. The theoretical substantiation and comparative analysis of the theoretical model of the influence of factors of different nature, built on the materials of previous independent scientific studies and works of Russian and foreign scientists and the model created as a result of the generalization of these studies showed a certain similarity of these models and their difference. It can be explained: a) the impact of economic activity on natural communities (thinning); b) the totality of the natural conditions of the forest-steppe (southern) Trans-Urals. The results of the study confirm the assumption that thinning not only changes the nature of the vegetation in the areas subjected to it, but also affects the migration of iron in the soil.

Keywords: iron migration in soil, factors of migration processes, models of iron migration, economic activity in a natural reserve

Актуальность работы обусловлена важностью создания и поддержания в жизнеспособном состоянии охраняемых территорий, ролью почвы в конкретном природном сообществе и влияния на природный комплекс хозяйственной деятельности, даже если она проводится в целях «улучшения состояния сообщества».

На первый взгляд трудно обосновать прямую взаимосвязь такого производ-

ственного процесса, как рубки ухода за сообществом, и динамикой химических соединений в почве данной территории.

Однако почва — основной источник минерального (корневого) питания растений, следовательно, химический состав почвы является одним из главных лимитирующих жизнеспособность биоты факторов, содержание и формы химических соединений железа относятся к одному из них. Это с одной стороны.

С другой стороны, входящая в биогеоценоз растительность сама способна оказывать значимое влияние на миграционные процессы химических элементов.

Железо — микроэлемент, который усваивается растениями в наибольшем количестве по сравнению с другими микроэлементами. Оно выполняет ведущую роль среди всех металлов, поглощаемых растениями.

Основное противоречие рассматриваемой проблемы состоит в том, что известны основные особенности миграции железа в почве и факторы, управляющие данными процессами, однако применимо к почве конкретного региона со своеобразием природно-климатических условий, к которым относим лесостепное Южное Зауралье, Белозерский природный зоологический заказник, проводимая в нем хозяйственная деятельность и ее последствия не выявлены.

Проблема исследования заключается в выявлении того, какие факторы управляют процессами миграции железа в почвах Белозерского заказника и как влияют рубки (в рамках разрешенной хозяйственной деятельности) на миграционные процессы железа?

Проблема изучения роли почвы в питании растений насчитывает более чем полуторавековую историю. В ее рамках следует выделить особое внимание исследователей последних десятилетий к следующим факторам:

- изучению особенностей почв конкретного региона: (J. Wang, Z. Li, C. Cai, W. Yang, R. Ma, T. Wang, 2012) [1], (N.V. Gopp, 2015) [2];
- влиянию геохимических особенностей ландшафтов в миграционных процессах микроэлементов (Е.М. Коробова, Б.Н. Рыженко, Е.В. Черкасова, Э.М. Седых, Н.В. Корсакова, В.Н. Данилова, С.Д. Хушвахтова, В.Ю. Березкин, 2014), (Д.В. Московченко, 2012) [3];
- динамике отдельных микроэлементов в системе «почва растения»: (миграции тяжелых металлов Г.Е. Шумакова, 2017) [4], (миграции железа Л.С. Малюкова, 2011) [5], выявление корреляционной связи в данной системе (Н.А. Пудовкин, Р.Ш. Мубаракшин, И.Ю. Кутепова, А.Ю. Кутепов, 2013) [6];
- миграционным процессам химических элементов в сложной системе почвы, в том числе:
- а) миграции железа (Р. Sipos, Т. Németh, Z. May, 2009) [7], (Л.А. Матюшкина, С.И. Левшина, Д.Н. Юрьев, 2006) [8], (G.V. Motuzova, E.A. Karpova, R.S. Aptikaev, 2009) [9], (А.С. Фрид, М.А. Гома Ботхина Саад, Т.И. Борисочкина, 2016) [10];

- б) межфазовым миграциям в рамках одного горизонта (в черноземе выщелоченном А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, Х.Д. Хурум, И.А. Лебедовский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, 2017) [11];
- в) вертикальным миграциям железа по почвенному профилю (В.Н. Шоба, 1979) [12], водной миграции железа А.В. Пузанов, С.В. Бабошкина, Т.А. Рождественская, С.Н. Балыкин, 2015) [13];
- г) определению устойчивости геосистем по миграции химических элементов (Л.Н. Семёнова, Ю.М. Семёнов, 2010) [14].

Цель исследования: теоретически обосновать миграционные процессы соединений железа в почве и действие факторов на них влияющих, провести экспериментальное исследование по динамике содержания железа в почвах Белозерского заказника и выявить факторы ими управляющие.

Объект исследования: фитогеоценозы Белозерского государственного заказника Курганской области.

Предмет исследования: миграционные процессы соединений железа в почве и факторы ими управляющие.

Охраняемые природные территории – непременный «атрибут жизнедеятельности» человечества в последние столетия. Что имеется в виду? Прежде всего, констатация факта необходимости охранять природные комплексы, прежде всего для будущих поколений. Уровень охраны природного комплекса различен – от полного неприятия какой-либо деятельности в рамках территории до разрешения отдельных видов хозяйственной деятельности. Природный заказник относится к таким территориям – с разрешенной хозяйственной деятельностью, направленной на поддержание данного комплекса.

С другой стороны, как показывают результаты мониторинга, современный экономический рост и социальное развитие сопровождаются негативными изменениями в природных экосистемах. Процесс развития социума чаще всего обедняет экосистемы и снижает видовое разнообразие, в результате исчезновение даже отдельных видов биоты может значительно ограничить выбор возможностей для будущих поколений. Устойчивое развитие требует сохранения наибольшего биоразнообразия, однако проводимая неграмотно хозяйственная деятельность, изначально направленная на благие цели, может иметь прямо противоположный результат и косвенно способствовать исчезновению видов благодаря нарушению химического баланса в корневом питании растений.

В целом деградация природных ресурсов, загрязнение окружающей среды и утрата биологического разнообразия сокращают способность экологических систем к самовосстановлению

Материалы и методы исследования

Объект исследования – биогеоценозы Белозерского государственного природного зоологического заказника, на территории которого были заложены пробные площадки для исследования влияния выборочных рубок на динамику химических элементов в системе «почва – растения» и закрепление их в почвенных горизонтах. На данных площадках, как и в контроле, изучены фитогеоценозы и отобраны пробы почв для химического анализа с разных горизонтов и образцы растительности.

Используемые методы: теоретические – анализ источников информации, сравнение, обобщение, моделирование. Эмпирические (практические): определение количества железа методом роданида аммония на основе колориметрического метода. Метод основан на взаимодействии железа с роданид-ионом в сильнокислой среде с образованием окрашенного в красный цвет комплексного соединения. Интенсивность окраски пропорциональна концентрации железа; потенциометрический метод определения рН. Измерение рН заключается в сравнении потенциала индикаторного электрода, погруженного в испытуемый раствор, с потенциалом того же электрода в стандартном буферном растворе с известным значением рН; методика определения гумуса И.В. Тюрина на основе титриметрического метода. Метод И.В. Тюрина основан на окислении органического вещества почвы хромовой кислотой до углекислоты. Количество кислорода, израсходованное на окисление органического углерода, определяют по разности между количеством хромовой кислоты, взятой для окисления, и ее количеством, оставшимся неизрасходованным после окисления. Остаток хромовой кислоты, не израсходованной на окисление, оттитровывают 0,1 н раствором соли Мора с индикатором дифениламином; методика определения подвижного фосфора по Кирсанову на основе колориметрического метода. Метод основан на извлечении подвижных соединений фосфора из почвы раствором соляной кислоты и последующем количественном определении содержания фосфора в почве в виде синего фосфорномолибденового комплекса на фотоэлектроколориметре.

Статистический и корреляционный анализ результатов [15].

Результаты исследования и их обсуждение

Общая биогеохимическая направленность истории и миграции железа на поверхности земной коры включает генерирование подвижных соединений, их транспорт и накопление в транзитных и аккумулятивных ландшафтах.

Железо под действием различных факторов может переходить из одной фазы в другую, меняя свое состояние. В твердой фазе почвы железо находится в форме оксидов и карбонатов. В почвенном растворе железо находится в виде свободных катионов. В ППК (почвенном поглотительном комплексе) железо, соединяясь с гуминовыми кислотами, образует органо-минеральные соединения.

Основными лимитирующими факторами подвижности железа между фазами почвы, если судить по литературным данным, являются: значение рН почвы (в кислых почвах подвижность и доступность железа увеличивается), окислительно-восстановительный потенциал — Еh (с повышением его значения растет доступность железа), наличие солей кальция (при увеличении их количества в почве снижается подвижность и доступность железа), наличие железобактерий (участвуют в связывании и осаждении железа, образуя нерастворимые соединения).

Между почвенными горизонтами по вертикальному профилю основными лимитирующими факторами подвижности железа являются:

- 1) подстилающая порода (наличие в подстилающей породе железосодержащих минералов повышает наличие соединений железа в почве), железо в минеральной форме поднимается из горизонта С (материнская порода) в горизонт В (иллювиальный), а из горизонта В в горизонт А (гумусово-элювиальный). Имеется и обратный переход: из горизонта А в горизонт В, а далее в горизонт С. В этом случае железо, соединяясь с гумусом, образует органо-минеральные формы и оседает;
- 2) структура почвы (чем лучше почва структурирована, тем меньше железо вымывается из почвы, т.е. его динамика замедляется);

3) механический состав — в легких почвах подвижность железа повышается, а в почвах с тяжелым механическим составом замедляется.

В процессе работы выявлена динамика содержания нерастворимого (в твердой фазе) железа в почве. Среди всех исследуемых участков выделяется один тем, что в его пробе содержится количество железа, значительно превышающее содержание в других образцах. Объяснение этому явлению можно найти, во-первых, в том, что на данном участке на глубине около 1 м идет активный процесс новообразования – в результате наблюдается скопление новообразований в виде конкреций с процентным содержанием железа 12,96%.

С другой стороны — данная территория является «площадкой рубки сосняка для осветления территории» предыдущего года. Такие рубки практикуются в Белозерском заказнике с целью создания обширных пространств — полян в лесном массиве с преобладанием травянистой растительности, которая будет естественной кормовой базой для травоядных обитателей заказника, в первую очередь косуль, лосей и кабанов.

Однако результаты анализа показывают, что результатами рубок осветления является смена лесных (с преобладанием сосны лесной) фитоценозов на травянистые включающие в первые годы в основном сорную растительность из семейства астровые. На этом фоне активное использование растениями железа тормозится, а близкое залегание грунтовых вод способствует окислению почвенного железа и накоплению в форме гидроксидов.

Результаты исследования показывают, что нерастворимое железо в почве находится в основном в горизонте С (материнской породе), следовательно, основным источником железа в почве являются подстилающие породы. Железо в почву поступает из подстилающей породы в процессе ее контакта с материнской породой почвы.

В горизонте В нерастворимого железа содержится тоже значительное количество, но чуть меньше, чем в горизонте С. Это объясняется тем, что данный химический элемент может переноситься в верхние горизонты благодаря восходящим токам.

В верхнем горизонте (А) почвенного нерастворимого железа содержится значительно меньше, чем в нижерасположенных горизонтах. Это можно связать, во-первых, с механическим составом гумусового горизонта (легкий механический

состав — преобладание физического песка), во-вторых — с активностью биологического круговорота — поглощением растворенного железа корневой системой имеющихся травянистых растений.

Вертикальная восходящая динамика с понижением содержания нерастворимого железа в верхнем горизонте наблюдается на всех участках проведенных рубок осветления в заказнике.

количество Наибольшее почвенного нерастворимого железа в горизонте А отмечается на участке смешанного леса, не подвергнутого рубке к западу от озера Зыбучево. Аналогично, максимальное количество железа выявлено в нижних горизонтах этого же участка. Из этого можно предположить, что на данном участке Белозерского государственного природного зоологического заказника подстилающие породы находятся на небольшой глубине и состоят из железосодержащих пород. Во-вторых, наличие сложно устроенного фитоценоза способствует удержанию его в верхних горизонтах.

Интересная динамика выявлена для содержания растворенного железа (в почвенном растворе) по горизонтам. Наибольшее содержание растворенного железа в целом наблюдается в почве на участках летней рубки 2017 г. около Бобрового болота и смешанного леса к западу от озера Зыбучево (в контроле). Причем на первом участке растворенного железа больше в горизонте С, а на ненарушенном участке больше в горизонте В. Проведенный анализ результатов позволил предположить, что:

- а) в первом случае наблюдается вертикальная миграция свободного (не связанного растительностью) железа в нижние горизонты;
- б) а во втором случае это связано с биогидроаккумулятивным почвообразованием под покровом растительности (смешанного леса) с обязательным участием грунтовых вод (подпитывающих озеро Зыбучево).

В рамках каждого горизонта выявлена территориальная горизонтальная динамика по всем участкам Белозерского заказника и динамика перехода железа из твердой фазы в жидкую, т.е. в почвенный раствор.

Помимо этого, выявлена динамика территориальной миграции соединений железа в рамках определенной территории, например, в прибрежных сообществах Бобрового болота и озера Зыбучево, а также на территориях, подвергавшихся антропогенному воздействию, в том числе на территориях рубок ухода.

В прибрежной зоне Бобрового болота участки различаются по содержанию железа в почве (в целом), в почве более удаленного от болота участка его значительно больше. Если судить по степени подвижности, то в почве данного участка преобладает растворенная форма железа. Возможно, подвижные формы железа смываются из почвы берегового участка благодаря близкому расположению к водоему, с одной стороны, и расположению на склоне (в трансэлювиальном ландшафте) с другой.

В прибрежной зоне озера Зыбучево на одном участке количественное распределение содержания железа следующее: нерастворимого и растворенного очень низкое. Данный участок расположен в непосредственной близости к водоему и на трансэлювиальном ландшафте, благодаря этому наблюдается постоянное смывание подвижных, растворенных форм железа, следовательно, возможен вынос железа из почвы при стекании талых и дождевых вод в озеро.

На удаленном от озера участке содержание всех форм железа в почве значительно выше. Участок расположен в смешанном лесу, следовательно, скорость стекания здесь значительно ниже за счет меньшего угла уклона и наличия различных жизненных форм растительности, связывающей и поглощающей ионы растворенного железа.

На территориях рубок содержится незначительное количество железа, особенно на территориях, подвергавшихся рубке, растительность на которых либо полностью уничтожена, либо находится на начальной стадии восстановления. Следовательно, здесь исключается воздействие биологического поглощения. Почвенный покров нарушен, почва не структурирована и легко пропускает воду. Также эти участки расположены на склонах возвышенности. Эти три фактора приводят к вымыванию и смыванию железа.

Один участок рубки расположен в небольшом понижении, что способствует аккумулированию на этой территории соединений железа. А близкое залегание грунтовых вод способствует окислению железа и накоплению его в виде гидроксидов. Все это способствует образованию скоплений в виде конкреций.

Заключение

1. На основе полученных результатов исследования и проведения их корреляционного анализа разработаны модели внешнесредового воздействия на переход железа

из одной фазы в другую в рамках каждого горизонта отдельно и модель внешнесредового воздействия на подвижность железа по горизонтам почвы.

- 2. Внутренним содержанием модели является переход железа из твердой фазы в фазу почвенного раствора.
- 3. Среди факторов, влияющих на подвижность железа между фазами почвы в горизонте А, лимитирующими являются рН актуальная, рН обменная и количество гумуса. Фоновыми факторами являются количество растворимых фосфатов и количество гидрокарбонатов в почвенном растворе.

Соотношение количества нерастворимого железа в твердой фазе почвы и растворенного железа в почвенном растворе зависит от кислотности почвенного раствора. Чем ниже рН в горизонте А, тем больше железа находится в почвенном растворе.

При низком содержании гумуса в выявленных образцах доказано, что он в основном находится в органо-минеральном комплексе.

Среди факторов, влияющих на подвижность железа между фазами почвы в горизонте В, лимитирующим является рН актуальная. Фоновыми факторами являются: рН обменная, количество гумуса, содержание фосфатов и гидрокарбонатов. Среди факторов, влияющих на подвижность железа между фазами почвы в горизонте С, лимитирующими являются рН актуальная, рН обменная. Фоновыми факторами являются: количество гумуса, фосфатов и гидрокарбонатов.

Среди факторов, оказывающих влияние на подвижность железа между горизонтами, одним из главных лимитирующих является фазовая динамика, механический состав и структура почвы. Фоновыми факторами являются влажность почвы, наличие растительности, содержание кислорода и микрофлора (железобактерии) почвы.

Сравнение модели, полученной в результате собственных исследований с теоретической, представленной выше, показало, что между теоретической моделью и полученной в результате исследования есть лишь неполное соответствие. Результаты исследования подтверждают предположение о том, что рубки ухода не только изменяют характер растительности на подвергнутых им территориях, но и оказывают влияние на миграцию железа в почве.

Список литературы / References

1. Wang J., Li Z., Cai C., Yang W., Ma R., Wang T. Research of red soil aggregate abrasion degree of different layers

in overland flow. Nongye Gongcheng Xuebao. 2012. № 19 (28). P. 78–84.

- 2. Gopp N.V. Soils of the southwestern part of the Dzhulukul depression in the Altai Republic. Eurasian soil science. 2015. № 6 (48). P. 567–577. DOI: 10.1134/S1064229315060046.
- 3. Коробова Е.М., Рыженко Б.Н., Черкасова Е.В., Седых Э.М., Корсакова Н.В., Данилова В.Н., Хушвахтова С.Д., Березкин В.Ю. К вопросу о формах нахождения йода и селена в природных водах и их концентрирование на ландшафтно-геохимических барьерах // Геохимия. 2014. № 6. С. 554–568. DOI: 10.7868/S0016752514040037.

Korobova E.M., Ryzhenko B.N., Cherkasova E.V., Sedykh E.M., Korsakova N.V., Danilova V.N., Khushvakhtova S.D., Berezkin V.Yu. On the question of the forms of iodine and selenium in natural waters and their concentration on landscape-geochemical barriers // Geochemistry International. 2014. № 6. P. 500–514 DOI: 10.1134/S001670291404003X (in Russian).

4. Шумакова Г.Е. Особенности миграции тяжёлых металлов из водорастворимых соединений почвы в разные части плода кабачков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 125. С. 296—308 [Электронный ресурс]. URL: http://ej.kubagro.ru/2017/01/pdf/21. pdf. DOI: 10.21515/1990-4665-125-021.

Shumakova G.E. Features of migration of heavy metals from water-soluble compounds of the soil to different parts of the fruit of zucchini // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2017. № 125. P. 296–308 [Electronic resource]. URL: http://ej.kubagro.ru/2017/01/pdf/21.pdf (in Russian).

5. Малюкова Л.С. Микроэлементы в системе почва — чайное растение в условиях субтропиков России. Сочи: Россельхозакадемия, 2011. 114 с.

Malyukova L.S. Trace elements in the soil system – tea plant in the conditions of subtropics of Russia. Sochi: Rossel`xozakademiya, 2011. 114 p. (in Russian).

6. Пудовкин Н.А., Мубаракшин Р.Ш., Кутепова И.Ю., Кутепов А.Ю. Корреляционная связь железа в почвах и растениях экологических сообществ г. Саратова // Интеграция науки и производства — стратегия устойчивого развития АПК России в ВТО: материалы Международной научиопрактической конференции, посвященной 70-летию Победы в Сталинградской битве (г. Волгоград, 30 января 2013 г.). Волгоград, 2013. С. 234.

Pudovkin N.A., Mubarakshin R.Sh., Kutepova I.Yu., Kutepov A.Yu. Correlation of iron in soils and plants of ecological communities of Saratov // Integration of science and production – strategy of sustainable development of the Russian agroindustrial complex in the WTO: materials International scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the Victory in the Battle of Stalingrad (Volgograd, January 30, 2013 g.). Volgograd, 2013. P. 234 (in Russian).

- 7. Sipos P., Németh T., May Z. Mineralogical composition of iron-rich precipitates in a meadow soil (river Ipoly, ne Hungary). Agrokemia es Talajtan. 2009. № 1 (58). P. 27–44.
- 8. Матюшкина Л.А., Левшина С.И., Юрьев Д.Н. О миграции железа в почвах и поверхностных водах нижнего Амура // Биогеохимические и экологические исследования наземных и водных экосистем. 2006. № 18. С. 185–194.

Matyushkina L.A., Levshina S.I., Yuryev D.N. On the migration of iron in the soils and surface waters of the lower Amur // Biogeochemical and environmental studies of terrestrial and aquatic ecosystems. 2006. № 18. P. 185–194 (in Russian).

- 9. Motuzova G.V., Karpova E.A., Aptikaev R.S. Arsenic species in soils: ecological aspects. Understanding the Geological and Medical Interface of Arsenic, As 2012: 4th International congress on arsenic in the environment (g. Cairns, 22–27 July 2012 g). Cairns, 2012. P. 391–392.
- 10. Фрид А.С., Гома Ботхина Саад М.А., Борисочкина Т.И. Миграция железа, кобальта и никеля в аридных почвах Египта, орошаемых природными и городскими сточными водами // Агрохимия. 2016. № 8. С. 68–81.
- Frid A.S., Goma Botkhina Saad M.A., Borisochkina T.I. Migration of iron, cobalt and nickel in the arid soils of Egypt, irrigated with natural and urban wastewater // Agrochemistry. 2016. № 8. P. 68–81 (in Russian).
- 11. Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Хурум Х.Д., Лебедовский И.А., Осипов М.А., Есипенко С.В. Содержание и формы соединений молибдена в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 64. С. 157–162. DOI: 10.21515/1999-1703-64-157-162.

Sheudzhen A.Kh., Bondareva T.N., Khurum Kh.D., Lebedovskiy I.A., Osipov M.A., Esipenko S.V. The content and forms of molybdenum compounds in leached chernozem of the western precaucasia under conditions of agrogenesis // Polytematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2017. № 64. P. 157–162 (in Russian).

12. Шоба В.А. Формы миграции железа, алюминия и кремния в дерново-глубокоподзолистых почвах Салаира // Специфика почвообразования в Сибири. 1979. С. 163–171.

Shoba V.A. Forms of migration of iron, aluminum and silicon in the sod-deep-podzolic soils of Salair // Specifika pochvoobrazovaniya v Sibiri. 1979. P. 163–171 (in Russian).

13. Пузанов А.В., Бабошкина С.В., Рождественская Т.А., Балыкин С.Н. Некоторые закономерности водной миграции железа и марганца в различных по водно-физическим свойствам горно-лесных темно-серых почвах Северного Алтая // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии: труды ІХ Международной биогеохимической школы (г. Барнаул, 24–28 августа 2015 г.). Барнаул: Изд-во СО РАН, 2015. С. 297–300.

Puzanov A.V., Baboshkina S.V., Rozhdestvenskaya T.A., Balykin S.N. Some regularities of water migration of iron and manganese in different water-physical properties of mountainforest dark gray soils of Northern Altai // Biogeochemistry of technogenesis and modern problems of geochemical ecology: works of the IX International Biogeochemical School (Barnaul, August 24–28, 2015). Barnaul: Publishing house SB RAS, 2015. P. 297–300 (in Russian).

14. Семёнова Л.Н., Семёнов Ю.М. Миграционная способность тяжелых металлов в почвах как индикатор чувствительности геосистем // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С. 26–33.

Semenova L.N., Semenov Yu.M. Migration capacity of heavy metals in soils as an indicator of the sensitivity of geosystems // Geography and natural resources. 2010. N 2. P. 116–123. DOI: 10.1016/j.gnr.2010.06.005 (in Russian).

15. Бухтояров О.И., Несговорова Н.П., Савельев В.Г., Иванцова Г.В., Богданова Е.П. Методы экологического мониторинга качества сред жизни и оценки их экологической безопасности. Курган: КГУ. 2015. 239 с.

Bukhtoyarov O.I., Nesgovorova N.P., Saveliev V.G., Ivantsova G.V., Bogdanova E.P. Methods of environmental monitoring of the quality of living environments and assessing their environmental safety. Kurgan: KGU, 2015. 239 p. (in Russian).