Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределение в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

.....
**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**
=====

УДК 631.416.9

**Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и
особенности их пространственного распределение в железистых
конкрециях почв Среднего Предуралья**

Горохова С.М., Васильев А.А.

Пермский государственный аграрно технологический университет

Аннотация

Работа посвящена эколого-геохимической оценке элементного химического состава конкреций почв таежно-лесной зоны Среднего Предуралья. Впервые охарактеризованы особенности пространственного распределения химических элементов в конкрециях дерново-подзолистых и аллювиальных почв с использованием атомно-абсорбционной спектрометрии и сканирующей электронной микроскопии с энерго-дисперсионным анализом. Выявлена концентрическая кольцевая структура конкреций с чередованием зон богатых Fe и Mn. Конкреции выполняют роль геохимических барьеров и аккумулируют не только железо и марганец, но и Cu, Ni, Co, Zn, Pb.

Ключевые слова: ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТАЯ ПОЧВА, АЛЛЮВИАЛЬНАЯ ПОЧВА, ОРТШТЕЙН, РОРЕНШТЕЙН, ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ, АТОМНО-АБСОРБЦИОННАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ, СЭМ/ЭДС-АНАЛИЗ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ FE и MN, КОЛЬЦЕВАЯ МИКРОСТРУКТУРА

Введение

Железомарганцевые конкреции (ЖМК) являются общей чертой морфологии почв гумидных ландшафтов [1–4]. ЖМК содержат обширную информацию о почвенных процессах и геохимии элементов [5–8].

Образование ЖМК, как основной формы осаждения оксидов Fe и Mn в почвах, является наиболее эффективным и длительным процессом связывания металлов в почвах, для которых характерно чередование окислительных и восстановительных фаз

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределения в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

=====

почвообразования. Конкрециеобразование снижает доступность металлов-загрязнителей, а сами конкреции являются геохимическим барьером для многих потенциально токсичных химических элементов [4, 9–15].

Обогащение тяжелыми металлами (ТМ) почвообразующих пород и почв, переменные окислительно-восстановительные условия почвообразования на восточной окраине Русской равнины (Среднее Предуралье) [1, 3, 16] и высокая техногенная нагрузка на окружающую среду региона [17–24] определяют актуальность изучения процессов аккумуляции ТМ в составе почвенных новообразований и необходимость оценки элементного химического состава ЖМК полугидроморфных и гидроморфных почв региона.

Генезис и геохимические особенности конкреций. Общими характеристиками климата регионов, в почвах которых образуются ЖМК, являются обильные осадки, низкое испарение, длительная продолжительность промерзания почвы зимой и оттаивания почвы весной, а также повторное замораживание [25, 26].

Образование ЖМК происходит за счет циклических изменений окислительно-восстановительного состояния почв [27], когда в профиле почв проявляются процессы оподзоливания и оглеения [28] при участии микроорганизмов [29]. В условиях модельного эксперимента Ф.Р. Зайдельманом и его сотрудниками было установлено, что ЖМК формируются за короткий период времени – один-два года [30].

Z.H. Sun и др. [31] выделяют три этапа образования ЖМК в плохо дренированных, с низким содержанием органических веществ, илистых суглинистых почвах (Fragiudalfs), распространенных на лессах юго-востока штата Индиана (США):

1) в матрице почвы в условиях увлажнения; под воздействием преимущественно оксидов Fe происходит цементация силикатных калиево-натриевых минералов с большими порами и образование ядра конкреции;

2) при сильном высыхании почвы тело конкреции обогащается Mn с образованием концентрических слоёв снаружи от ядра;

3) при умеренном высыхании почвы концентрические слои обогащаются оксидами Fe. Чередование зон, обогащенных Fe и Mn, в характерной концентрической структуре вместе с флуктуациями соотношения Mn/Fe, по мнению Z.H. Sun [31], указывает на то, что в процессе образования конкреций часто происходили процессы окисления и

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределения в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
 =====

восстановления.

P. Sipos и соавторы [32] пришли к выводу, что ведущими процессами образования ЖМК в Gleyic Fluvisol являются формирование внешней оболочки и пропитка оксидами Fe внутренних частей тела новообразований. Авторы выделяют четыре стадии образования конкреций:

- 1) цементацию крупных почвенных частиц оксидами Fe и Mn с образованием агрегатов неправильной формы;
- 2) формирование внешней оболочки;
- 3) медленное осаждение оксидов железа и марганца в виде концентрических полос;
- 4) отслаивание внешней оболочки от внутреннего слоя [32].

ЖМК в составе почв с контрастным водным режимом - темно-серых, темно-серых контактно-оглеенных и дерново-подзолистых контактно-глееватых почв на двучленных отложениях в южной части Восточно-Европейской равнины (Тамбовская область), аккумулируют аморфные соединения Fe. Соотношение кислоторастворимых (0,1 Н H₂SO₄) форм Fe и Mn в составе конкреций увеличивается в ряду от темно-серой контактно-сильнооглеенной почвы к дерново-подзолистой контактно-глееватой почве [33].

Известно, что минералы Fe и Mn в составе ЖМК являются естественными геохимическими барьерами для тяжелых металлов [10, 34].

В почвах, относящихся к Stagnic Fragic Albeluvisol, на территории предгорий Карпат (Польша), W. Szymanski и M. Skiba [35] установили, что максимальное содержание ЖМК характерно для элювиального горизонта Eg и составляет от 7,71% до 27,41% от массы всей почвы в горизонте. В химическом составе конкреций этих почв преобладали: Fe₂O₃ (22,7-41,9%); MnO (2,7-5,4%) и AlO (11,7-15,8%). Концентрация других химических элементов была также выше, чем в почвенном мелкоземе: 1,29% TiO; 0,06% CoO; 0,06% NiO; 0,66% CuO; 0,66% ZnO.

В ЖМК бурых лесных почв Тихоокеанского побережья России (Приморский край) концентрация Mn в 10-40 раз больше, Co в 5-30 раз больше, Ni в 3-17 раз больше, чем в массе мелкозема почвы, вмещающего конкреции. Содержание Zn в конкрециях бурых лесных почв находится на уровне мелкозема [36]. В лугово-бурых и бурых лесных почвах на юге Дальнего Востока (Приморский край) ЖМК интенсивно аккумулируют Mn, Co, Pb и Ni и в меньшей степени – Cu, Cr и Mo [10].

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределения в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

=====

В ЖМК пахотных светло-серых поверхностно-оглеенных почвах в южной части Восточно-Европейской равнины (Тамбовская область) накапливаются Cd, Pb, Co и Mo. Содержание Zn и Cu в конкрециях светло-серых почв значительно меньше, чем в конкрециях дерново-подзолистых почв таежно-лесной зоны [37].

По сравнению с почвенной матрицей типичного Plinthudult в Восточном Китае, ЖМК значительно обогащены Mn, Pb, Ni, Cu и Zn [38]. В ЖМК, сформировавшихся в Terra rossa Юньнань-Гуйчжоуского нагорья (провинция Гуйчжоу, Китай), содержание Cd превышает фоновые в 268,13 раз; Pb – в 39,46; Cr – в 11,80; Zn – в 8,43; Ni – в 6,16; Cu – в 3,65 раз [39]. В пахотной Cutanic Luvisol в юго-западной части Африканского континента (Намибия) ЖМК аккумулируют: Cd 6,83; Zn 137; Cu 45; Pb 597 мг/кг, что выше кларков этих элементов [8].

В аллювиальных луговых почвах заповедника «Большая Кокшага» на востоке Восточно-Европейской равнины (Республика Марий Эл) сформировались ЖМК, в составе которых содержание Mn в 30 раз выше, чем в окружающей их почве, Ba – в 11 раз, а P, Ni, Zn, As, Fe и S – более, чем в два раза [40].

Внутреннее строение конкреций является важной основой для выводов о почвенных процессах и экологических условиях окружающей среды [5, 10, 41–43]. В субтропических почвах, которые относятся к таксону Typic Plinthudult, на четвертичных красноцветных породах Восточного Китая, были изучены особенности внутренней структуры и пространственного распределения химических элементов в ЖМК [38]. Изученные Fe-Mn конкреции сложены кварцем, мусковитом и каолинитом. Присутствие кварца и каолинита в конкрециях предполагает их аутигенное образование, вероятно, в результате пропитки и цементации почвенной матрицы оксидами Fe и Mn. Общее содержание Fe уменьшается с увеличением размера конкреций, а общее содержание Mn наоборот увеличивается. Содержание свободных оксидов Fe изменяется от 73 до 75% от валового Fe, а доля оксидов Mn составляет около 96% от валового содержания Mn. Установлено, что Pb связан в основном с оксидами Fe, а Cu, Ni, Cd и Zn связаны в основном с оксидами Mn [38].

Элементный химический состав ЖМК почв Среднего Предуралья изучен Ю.Н. Водяницким, А.А. Васильевым и соавторами [1, 4, 11, 12, 44, 45]. Было установлено, что концентрация ТМ и As в составе ЖМК почв региона изменяется в широком диапазоне:

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределение в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

=====

Zn 59-139, As 14-75, Cr 34-246, Ni 95-492, Cu 23-134, Mn 465-41433 мг/кг и зависит от генезиса почв и пород, окислительно-восстановительных режимов почв, степени антропогенной нагрузки на почвенный покров исследованных ландшафтов [4, 41].

Несмотря на обширные исследования по изучению элементного химического состава Fe-Mn конкреций почв Среднего Предуралья, сведения о распределении химических элементов во внутреннем пространстве этих новообразований ограничены [4] и часто носят предположительный характер [20, 42].

Цель исследований – эколого-геохимическая оценка элементного химического состава ЖМК (1); выявление особенностей пространственного распределения химических элементов в теле ЖМК (2).

Для данного исследования были выбраны почвы, которые характеризуются чередованием восстановительных фаз временного избыточного увлажнения, обеспечивающих мобилизацию и миграцию ионов Fe и Mn, и последующих фаз окисления, когда происходит осаждение металлов в порах, на поверхности первичных минералов почвы, в составе биогенных фрагментов – корни, стебли растений и др.

Объекты исследования

Изучались дерново-глубокоподзолистая тяжелосуглинистая и дерново-неглубокоподзолистая поверхностно оглеенная глинистая почвы в пределах Осинско-Оханско-Пермского почвенного района [46] и аллювиальная темногумусовая тяжелосуглинистая почва в пределах Сивинско-Ильинского почвенного района (рис. 1). Территория обследования находится в зоне влияния выбросов промышленных предприятий Пермско-Краснокамской агломерации [24].

Разрез 1-Ч-з. Дерново-глубокоподзолистая мощная мало гумусированная тяжелосуглинистая почва на элювиально-делювиальных отложениях. Разрез заложен на пологом склоне юго-восточной экспозиции в окрестности СНТ Черемшанка д. Мостовая. Координаты: 57° 82' 86" с.ш., 56° 51' 12" в.д. Почва находится в залежном состоянии более 20 лет. Увлажнение почвы атмосферное, кратковременно избыточное.

Разрез 1-С. Дерново-неглубокоподзолистая среднемощная мало гумусированная поверхностно оглеенная глинистая почва на элювиально-делювиальных отложениях. Разрез заложен в понижении водораздельного плато на южной окраине г. Перми.

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределения в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Координаты 57° 95' 14'' с.ш., 56° 29' 51'' в.д. Вид угодья – неиспользуемое пастбище. Увлажнение почвы атмосферное, временно избыточное, с периодическим формированием верховодки.

Разрез 1-Н. Аллювиальная темногумусовая мелкая средне гумусированная насыщенная тяжелосуглинистая почва на современном аллювии. Место закладки – центральная пойма на правом берегу р. Сын в окрестностях д. Луговая Нытвенского района. Координаты: 58° 26' 64'' с.ш., 55° 59' 78'' в.д. Вид угодья – сенокос. Увлажнение атмосферное, краткопоёмное, временно избыточное.

Рис. 1. Местоположение объектов исследования на карте почвенных районов Пермского края по Н.Я. Коротаеву [46]

Методы исследования

Закладка разрезов почв, морфологическое описание профиля почв и отбор проб почв проведены в соответствии с методиками проведения крупномасштабных почвенных обследований [47]. Выделение конкреций проводилось методом отмывки на сите $d > 1,0$ мм; рН почвы анализировали в суспензии почвы: 1 Н КСl 1: 2,5. Общее содержание

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределение в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

органического углерода в образцах определяли методом Тюрина в модификации Симакова, сумму обменных оснований по методу Каппена-Гильвикивица, гранулометрический состав образцов исследовали методом пипетки по Качинскому [47].

Методом атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС) проанализирован валовой химический состав вмещающей матрицы почвы и конкреций. Образец массой 0,2-0,4 г с точностью до 10^{-4} г разлагали 5 мл смесью концентрированных азотной и соляной кислот (1:3). ААС проб проведена в трехкратной повторности на приборе iCE 3500 (Thermo Scientific, США) с пламенной атомизацией.

Для подготовки образцов конкреций к проведению электронно-микронзондового анализа образцы заливали эпоксидной смолой; алмазным пыльным диском изготавливали аншлифы с поперечным сечением конкреций, полировали их поверхность. Полированные поверхности были покрыты углеродным скотчем для электронного микроанализа. Электронно-зондовый микроанализ конкреций выполнен на растровом электронном микроскопе высокого разрешения FEI Quanta 650FEG (FEI, США) с энерго-дисперсионным спектрометром EDAX Octane Elite. Исследование аншлифов проводили в режиме низкого вакуума при давлении в камере 200 Па и ускоряющем напряжении 20 кВ.

Энерго-дисперсионный микроанализ использовался для получения карт химических элементов на поперечных срезах неразрушенных конкреций. Кроме того, пространственное распределение химических элементов в отдельных конкрециях было изучено точечным анализом (табл. 1) по 38 энерго-дисперсионным спектрам с помощью электронно-микронзондового анализа.

Эколого-геохимическая оценка элементного химического состава железистых конкреций выполнена по коэффициентам аккумуляции-рассеивания (табл. 2): KK_{SOIL} , $KK_{BEDROCK}$, CF и $KK_{VINOGRADOV}$, которые рассчитывались по следующим формулам:

Коэффициент концентрации относительно состава почвы до извлечения конкреций (KK_{SOIL}):

$$KK_{SOIL} = \frac{C}{C_{SOIL}} \quad (1)$$

C_1 – концентрация i-го химического элемента в конкрециях, мг/кг;

C_{SOIL} – концентрация i-го химического элемента в почве до извлечения конкреций, мг/кг.

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределение в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

=====

Коэффициент концентрации относительно почвообразующей породы ($KK_{BEDROCK}$):

$$KK_{BEDROCK} = \frac{C}{C_{BEDROCK}} \quad (2)$$

C – концентрация i -го химического элемента в почвенном компоненте (почве, конкрециях), мг/кг;

$C_{BEDROCK}$ – концентрация i -го химического элемента в почвообразующей породе, мг/кг.

Величину KK_{SOIL} оценивали следующим образом: если $KK_{SOIL} \geq 1$, то конкреции обогащены i -м химическим элементом. Когда $KK_{SOIL} < 1$, то конкреции обеднены i -м химическим элементом.

Коэффициент концентрации относительно кларка литосферы по А.П. Виноградову ($KK_{LITHOSPHERE}$) [48]:

$$KK_{LITHOSPHERE} = \frac{C}{C_{LITHOSPHERE}} \quad (3)$$

$C_{LITHOSPHERE}$ – кларк i -го химического элемента литосферы по А.П. Виноградову [48], мг/кг.

Коэффициент загрязнения (CF) [49]:

$$CF = \frac{C}{C_{BACKGROUND}} \quad (4)$$

$C_{BACKGROUND}$ – региональный фон i -го химического элемента по И.С. Копылову [23], мг/кг.

Коэффициент концентрации относительно кларка почв мира по А.П. Виноградову ($KK_{VINOGRADOV}$) [50]:

$$KK_{VINOGRADOV} = \frac{C}{C_{VINOGRADOV}} \quad (5)$$

$C_{VINOGRADOV}$ – кларк i -го химического элемента почв мира по А.П. Виноградову [50], мг/кг.

При использовании $KK_{LITHOSPHERE}$, CF и $KK_{VINOGRADOV}$ загрязнение почвы классифицировали следующим образом: $x < 1$ «слабое загрязнение», $1 \leq x < 3$ «умеренное загрязнение», $3 \leq x < 6$ «значительное загрязнение», $x > 6$ «очень сильное загрязнение» [49].

Математическая статистическая обработка результатов исследования выполнена по Дмитриеву Е.А. [51] в программном пакете MS Office 2010.

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределения в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
 =====

Результаты исследований и их обсуждение

Физико-химические свойства аллювиальной темногумусовой тяжелосуглинистой почвы были следующими: содержание органического углерода – среднее (2,5 %), сумма обменных оснований – очень высокая (49,6 мг-экв/100 г почвы) и реакция почвенного раствора – нейтральная (pH=7,1). Дерново-неглубокоподзолистая поверхностно оглеенная глинистая почва имела низкое содержание органического углерода (1,6 %), низкую сумму обменных оснований (9,7 мг-экв/100 г почвы) и сильноокислую реакцию почвенного раствора (pH=4,3). Дерново-глубокоподзолистая тяжелосуглинистая почва разреза 1-Ч-з характеризуется низким содержанием органического углерода (1,3%), средней суммой обменных оснований (11,0 мг-экв/100 г почвы) и сильноокислой реакцией почвенного раствора (pH=4,5).

Роренштейны, выделенные из аллювиальной почвы, имели цилиндрическую форму со сквозным каналом вдоль оси, размером от 5 до 30 мм. Окраска роренштейнов буро-охристая и ржаво-бурая, обусловленная биохимическим и микробиологическим осаждением соединений железа из почвенного раствора на поверхности отмерших тел корней.

Поперечный срез роренштейнов имеет концентрическую структуру, отражающую периодичность развития и относительно медленную скорость образования конкреций в условиях динамичности окислительно-восстановительных условий в почвах пойм.

В дерново-подзолистой и дерново-подзолистой поверхностно оглеенной почвах сформировались сферические конкреции – ортштейны. Окраска ортштейнов, как и роренштейнов, - буро-охристая и ржаво-бурая. Размер конкреций от 0,25 до 2,0 мм. В дерново-подзолистой поверхностно оглеенной глинистой почве горизонт АУ содержал конкреции 7,4% от массы горизонта, а в горизонте Ег почти в два раза меньше – 4,6% от массы горизонта. Содержание конкреций в горизонте АУ дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы составило 2,7% от массы горизонта.

Концентрация ТМ и Fe в почвах и конкрециях отличается (табл. 1).

Серогумусовый и подзолистый с признаками оглеения горизонты дерново-неглубокоподзолистой поверхностно оглеенной почвы (разрез 1-С) обеднены Cu, Ni, Zn и Fe. Содержанием Со оценивается, как повышенное относительно кларка для почв мира. Горизонт АУ обогащен, относительно почвообразующей породы, Mn и Pb.

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределения в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**

Серогумусовый горизонт дерново-глубокоподзолистой почвы (разрез 1-Ч-3) обогащен Co и Zn, по отношению ко всем использованным геохимическим константам.

Таблица 1. Содержание химических элементов в составе почв и конкреций, значения геохимических констант, мг/кг (n = 3)

Горизонт, глубина, см	Образец	Fe	Mn	Cu	Ni	Co	Zn	Pb
Разрез 1-С. Дерново-неглубокоподзолистая поверхностно оглеенная глинистая почва								
АУ, 5-15	Почва	9685,00	4322,17	20,13	21,38	11,32	42,14	18,24
	Конкреции	32251,96	7808,53	22,12	23,34	122,28	58,88	56,26
Ег, 15-30	Почва	9898,00	835,81	16,19	19,30	13,07	34,86	8,72
	Конкреции	38738,32	10249,00	75,93	40,02	244,33	42,54	55,03
ВТ, 40-70	Почва	15557,00	505,45	30,56	41,16	11,50	36,32	12,11
Разрез 1-Ч-3. Дерново-глубокоподзолистая тяжелосуглинистая почва								
АУ, 2-29	Почва	11850,82	925,58	28,35	39,89	21,29	99,35	0,00
	Конкреции	48034,08	2686,60	74,91	94,62	376,89	476,18	0,00
С, 100-110	Почва	25405,72	364,29	53,50	59,45	15,22	36,52	0,00
Кларк земной коры		46500	1000	47	58	18	83	16
Кларк почв мира		38000	850	20	40	8	50	10
Региональный фон		-	900	50	35	17	70	22

Примечания: «-» означает, что данные отсутствуют

Таблица 2. Коэффициенты аккумуляции - рассеивания химических элементов (КК) и коэффициенты загрязнения (CF) для дерново-подзолистых почв, по данным атомно-абсорбционной спектроскопии

Горизонт, глубина, см	Показатель	Fe	Mn	Cu	Ni	Co	Zn	Pb
Разрез 1-С. Дерново-неглубокоподзолистая поверхностно оглеенная глинистая почва								
АУ, 5-15	КК _{BEDROCK}	0,5	1,7	0,5	0,5	0,9	0,9	1,5
	КК _{LITHOSPHERE}	0,2	0,8	0,4	0,4	0,6	0,5	1,1
	CF	-	0,9	0,4	0,6	0,7	0,6	0,8
	КК _{VINOGRADOV}	0,3	1,0	0,9	0,5	1,4	0,8	1,8
Ег, 15-30	КК _{BEDROCK}	0,5	1,0	0,4	0,5	1,0	0,6	0,7
	КК _{LITHOSPHERE}	0,2	0,5	0,3	0,3	0,7	0,3	0,5
	CF	-	0,5	0,3	0,6	0,8	0,4	0,4
	КК _{VINOGRADOV}	0,3	0,6	0,8	0,5	1,6	0,6	0,9
Разрез 1-Ч-3. Дерново-глубокоподзолистая тяжелосуглинистая почва								
АУ, 2-29	КК _{BEDROCK}	0,5	2,5	0,5	0,7	1,4	2,7	*
	КК _{LITHOSPHERE}	0,3	0,9	0,6	0,7	1,2	1,2	*
	CF	-	1,0	0,6	1,1	1,3	1,4	*
	КК _{VINOGRADOV}	0,3	1,1	1,4	1,0	2,7	2,0	*

Примечания: «*» – не действительно, т.к. содержание Pb = 0 мг/кг.

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределения в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**

Горизонт характеризуется повышенным содержанием Ni относительно регионального фона, а также Mn относительно почвообразующей породы и кларка для почв мира. Слабое загрязнение дерново-глубокоподзолистой тяжелосуглинистой почвы Co и Zn, вероятно, обусловлено деятельностью машиностроительных предприятий и ТЭЦ, расположенных на южной окраине г. Перми.

Железосодержащие конкреции дерново-глубокоподзолистой и дерново-неглубокоподзолистой поверхностно оглеенной почв аккумулируют Cu, Ni, Co, Zn, Mn и Pb (рис. 2).

Коэффициенты аккумуляции-рассеивания тяжелых металлов в конкрециях серогумусовых горизонтов почв образуют следующие геохимические ряды.

1. относительно почвы до извлечения конкреций

- дерново-неглубокоподзолистая поверхностно оглеенная почва: Co 10,8 > Fe 3,3 > Pb 3,1 > Mn 1,8 > Zn 1,4 > Cu 1,1 > Ni 1,1;
- дерново-глубокоподзолистая почва: Co 17,7 > Zn 4,8 > Fe 4,1 > Mn 2,9 > Cu 2,6 > Ni 2,4.

2. относительно почвообразующей породы

- дерново-неглубокоподзолистая поверхностно оглеенная почва: Mn 15,4 > Co 10,6 > Pb 4,6 > Fe 2,1 > Zn 1,6 > Cu 0,7 > Ni 0,6;
- дерново-глубокоподзолистая почва: Co 24,8 > Zn 13,0 > Mn 7,4 > Fe 1,9 > Ni 1,6 > Cu 1,4.

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределение в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределения в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
 =====

Рис. 2. Коэффициенты аккумуляции-рассеивания железа и тяжелых металлов в составе конкреций

Примечания: 1 – конкреции, выделенные из дерново-неглубокоподзолистой глинистой поверхностно оглеенной почвы, разрез 1-С, горизонт АУ, 5-15 см; 2 – конкреции, выделенные из дерново-неглубокоподзолистой глинистой поверхностно оглеенной почвы, разрез 1-С, горизонт АУ, 15-30 см.; 3 – конкреции, выделенные из дерново-глубокоподзолистой тяжелосуглинистой почвы, разрез 1-Ч-з, горизонт АУ, 2-29 см.

На рисунках 3 А - 3 С представлены электронно-микронные снимки в отраженных электронах поверхности шлифов поперечных срезов конкреций. Светло-серый цвет на поперечных срезах конкреций обусловлен присутствием атомов железа, марганца, титана и тяжелых металлов с массой около 50 и более ед. Темно-серый цвет на микроснимках – зоны, в которых преобладают соединения химических элементов с низкой атомной массой – углерод, азот, алюминий, кремний, фосфор, калий и др.

Роренштейн, сформировавшийся в глеевом горизонте аллювиальной темногумусовой почвы (разрез 1-Н), отличается сохранением морфологического строения фрагмента корня, вокруг которого путем его замещения и обрастания, сформировалась ризоконкреция. В центре внутренней части конкреции хорошо выражена полость – внутренний осевой канал роренштейна. Внутренняя часть роренштейна – от осевого канала до внешней оболочки, четко разделяется по цвету в отраженных электронах на три слоя: первый – в центре наиболее темное кольцо; второй – самое большое кольцо, которое имеет преимущественно светло-серую окраску; третий – тонкое внешнее темное кольцо или оболочка ризоконкреции (рис. 3 А).

Сферическая конкреция или ортштейн, выделенный из серогумусового горизонта дерново-неглубокоподзолистой поверхностно оглеенной почвы, имеет концентрическое строение. Выделяется три составных части конкреции: ядро, внешняя оболочка и внутреннее разделительное кольцо. Скопления соединений металлов с высокой атомной массой четко фиксируется в виде светлого кольца на поверхности ядра (рис. 3 В).

На поперечном срезе ортштейна из серогумусового горизонта дерново-глубокоподзолистой почвы выделяются две части. Первая часть – ядро серого цвета, вторая часть – темно-серая оболочка ядра. На микроснимке в отраженных электронах серый цвет ядра и его оболочки обусловлен преобладанием атомов химических элементов с массой менее 50 ед. (рис. 3 С).

Создание цветовых СЭМ/ЭДС-карт распределения химических элементов на поперечных срезах железистых конкреций позволило уточнить пространственную неоднородность элементного химического состава новообразований (рис. 3 D - F).

Тело роренштейна характеризуется четко выраженным концентрическим распределением некоторых химических элементов (рис. 3 D). Фосфор и марганец аккумулируются во внутреннем кольце ризоконкреции, опоясывающем осевой канал железистой трубочки. На морфологическом уровне данная область состоит из клеток проводящих пучков корня растения. Наибольшую площадь на поперечном срезе ризоконкреции занимает алюмосиликатный слой, пропитанный, возможно, гидроксидами железа. Второй марганцево-железистый слой является внешней оболочкой роренштейна. Кроме этого, выявлены скопления соединений железа очагового характера, обусловленные жизнедеятельностью колоний железоредуцирующих микроорганизмов [29] (рис. 3 D).

Пространственное распределение химических элементов внутри тела ортштейна, выделенного из серогумусового горизонта дерново-неглубокоподзолистой поверхностно оглеенной почвы, неоднородное (рис. 3 E). Железо сконцентрировано в центральной части ортштейна. Ядро ортштейна является центром конкрецееобразования. Колонии железоредуцирующих бактерий сформировались изначально на поверхности частицы магнетита, маггемита, гематита или иного минерала железа. Тело ортштейна постепенно «разрасталось» за счет ожелезнения алюмосиликатной глинистой матрицы почвы, окружающей центр конкрецееобразования, нарастание происходило за счёт «налипания» почвенной массы из вмещающей матрицы. Марганец (1,3%) образует четко выраженный

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределения в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

кольцеобразный каркас на поверхности железистого ядра внутри ортштейна (рис. 3 Е).

Аллювиальная
темногумусовая насыщенная
тяжелосуглинистая почва,
разрез 1-Н, горизонт G, 64-72
см

Дерново-неглубоко-
подзолистая глинистая
поверхностно оглеенная
почва, Разрез 1-С, горизонт
AY, 5-15 см

Дерново-глубоко-
подзолистая
тяжелосуглинистая почва,
разрез 1-Ч-3, горизонт AY, 2-
29 см

Рис. 3. Результаты СЭМ/ЭДС-анализа аншлифов конкреций в почвах Среднего Предуралья: А-С – микроснимки в отраженных электронах; D-F – карты пространственного распределения химических элементов; G-I – карты пространственного распределения железа и марганца

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределения в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
 =====

Железо на карте распределения химических элементов поперечного среза ортштейна дерново-глубокоподзолистой почвы приурочено к периферии конкреции (рис. 3 F). Исследованные ортштейн и роренштейн характеризуются общей закономерностью пространственного распределения химических элементов: от центра конкреции к периферии увеличивается содержание железа и снижается содержание марганца (рис. 3 G, D).

Содержание железа и марганца в конкрециях варьировало: Fe 1,67-19,22%, Mn 0,25-3,71% (табл. 3). Концентрация других макроэлементов в составе алюмосиликатной части изменялось в широком диапазоне: Si 6,57-25,58%, Al 3,97-22,07%, Mg 0,39-1,68%, K 0,38-1,13%, Ca 0,09-0,65%, Na 0,65-1,14%. Выявлено аномально высокое содержание азота – 29700 мг/кг и фосфора – 900 мг/кг. Это подтверждает биогенную природу ортштейнообразования, то есть участие колоний микроорганизмов в процессе формирования железистых конкреций [52]. Содержание тяжелых металлов и титана было следующим: Co – до 700 мг/кг, Cr – до 700 мг/кг, Ti – от 1600 до 39100 мг/кг.

Выявлена локальная аккумуляция в конкрециях Fe, Mn, Cr, Ti, Ni относительно регионального фона и кларка почв мира по А.П. Виноградову. Содержание магния и натрия в некоторых локальных зонах конкреций превышает кларк почв мира (табл. 4).

Выводы

Железосодержащие конкреции аллювиальной темногумусовой насыщенной тяжелосуглинистой почвы, дерново-неглубокоподзолистой глинистой поверхностно оглеенной почвы, дерново-глубокоподзолистой тяжелосуглинистой почвы выполняют роль геохимических барьеров и аккумулируют Cu, Ni, Co, Zn, Mn и Pb.

СЭМ/ЭДС-картирование выявило концентрическую кольцевую структуру конкреций с чередованием фаз, богатых Fe и Mn. Ядро конкреций обогащено марганцем. Кольцевая структура конкреций отражает контрастные окислительно-восстановительные условия почвообразования и осаждения металлов в почвах Среднего Предуралья с временным избыточным увлажнением.

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределение в железистых конкрециях почв

Среднего Предуралья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
 =====

Таблица 3. Элементный химический состав на срезах неразрушенных конкреций по данным энерго-дисперсионного анализа в отдельных точках

Объект	Горизонт, глубина, см	Количество точек, шт.	O	C	N	Si	Al	Fe	Mn	Ca	Mg	K	Na	P	Ti	Co	Cr
			%														
Разрез 1-Н. Аллювиальная темногумусовая насыщенная тяжелосуглинистая почва	G, 64-72	16	46,79	12,89	*	14,50	3,97	19,22	*	0,09	0,49	0,82	0,84	0,09	0,24	0,07	*
Разрез 1-С. Дерново-неглубокоподзолистая поверхностно оглеенная глинистая почва	AY, 5-15	12	32,95	48,74	2,97	6,57	5,05	1,67	0,25	0,20	0,39	0,38	0,65	0,00	0,16	*	*
Разрез 1-Ч-з. Дерново-глубокоподзолистая тяжелосуглинистая почва	AY, 2-29	10	35,35	-	*	25,58	22,07	4,66	3,71	0,65	1,68	1,13	1,14	0,04	3,91	*	0,07

Примечания: «-» – показатель не определяли; «*» – содержание ниже предела обнаружения

Таблица 4. Коэффициенты концентрации-рассеивания химических элементов на срезах неразрушенных конкреций по данным энерго-дисперсионного анализа в отдельных точках

Объект	Горизонт, глубина, см	Количество точек, шт.	O	C	N	Si	Al	Fe	Mn	Ca	Mg	K	Na	P	Ti	Co
KK _{BACKGROUND}																
Разрез 1-Н. Аллювиальная темногумусовая насыщенная тяжелосуглинистая почва	G, 64-72	16	1,14	-	0,56	0,57	4,75	-	0,03	0,30	0,38	0,39	1,13	0,60	43,73	-
Разрез 1-С. Дерново-неглубокоподзолистая поверхностно оглеенная глинистая почва	AY, 5-15	12	1,37	3049,47	0,43	1,22	0,70	4,88	0,13	0,41	0,30	0,51	0,00	0,69	-	-

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределение в железистых конкрециях почв

Среднего Предуралья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
 =====

Объект	Горизонт, глубина, см	Количество точек, шт.	O	C	N	Si	Al	Fe	Mn	Ca	Mg	K	Na	P	Ti	Co
Разрез 1-Ч-з. Дерново-глубокоподзолистая тяжелосуглинистая почва	АУ, 2-29	10	0,75	-	0,87	2,74	1,00	37,10	0,22	0,90	0,45	0,46	0,43	8,69	-	8,43
KK VINOGRADOV																
Разрез 1-Н. Аллювиальная темногумусовая насыщенная тяжелосуглинистая почва	G, 64-72	16	-	-	0,50	0,64	5,81	-	0,07	0,90	0,69	1,53	1,31	0,59	98,39	-
Разрез 1-С. Дерново-неглубокоподзолистая поверхностно оглеенная глинистая почва	АУ, 5-15	12	-	57,94	0,39	1,38	0,86	5,74	0,28	1,21	0,55	2,01	0,00	0,68	-	-
Разрез 1-Ч-з. Дерново-глубокоподзолистая тяжелосуглинистая почва	АУ, 2-29	10	-	-	0,78	3,10	1,23	43,65	0,47	2,67	0,83	1,81	0,50	8,50	-	3,50

Примечания: «-» – содержание ниже предела обнаружения

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-34-90070 «Оценка и меры по снижению экологических рисков загрязнения почв тяжелыми металлами в составе магнитных частиц при ведении агрохозяйства на территориях с высоким уровнем антропогенной нагрузки на окружающую среду и почвенный покров».

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределения в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
 =====

Список использованных источников

1. Васильев А.А. Гидрологический режим, свойства и диагностика дерново-подзолистых поверхностно-оглеенных почв на покровных отложениях Предуралья: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук: 03.00.27. – Москва. – 1994. – 216 с.
2. Гилев В.Ю. Оксидогенез и редуктогенез в почвах на элювии и делювии пермских глин среднего Предуралья: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03. – Москва. – 2007. – 141 с.
3. Сатаев Э.Ф. Режимы и оксидогенез почв на древнеаллювиальных отложениях Средне-Камской низменной равнины: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03. – Москва. – 2005. – 140 с.
4. Васильев А.А., Романова А.В. Железо и тяжелые металлы в аллювиальных почвах Среднего Предуралья. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2014. – 231 с.
5. Drosdoff M., Nikiforoff C.C. Iron-manganese concretions in Dayton soils // Soil Science. LWW. – 1940. Vol. 49. – № 5. – P. 333-346.
6. Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С. Генезис и диагностическое значение новообразований почв лесной и лесостепной зон. – Москва: Изд-во МГУ, 2001. – 216 с.
7. Gasparatos D., Massas I., Godelitsas A. Fe-Mn concretions and nodules formation in redoximorphic soils and their role on soil phosphorus dynamics: Current knowledge and gaps // Catena. Elsevier. – 2019. Vol. 182. – P. 104106.
8. Ettler V. [et al.] Characterization of Fe-Mn concentric nodules from Luvisol irrigated by mine water in a semi-arid agricultural area // Geoderma. Elsevier. – 2017. Vol. 299. – P. 32-42.
9. Голов В.И., Тимофеева Я.О. Экологические функции почв и их реализация на примере железомарганцевых конкреций // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 5. – С. 16-19.
10. Тимофеева Я.О., Голов В.И. Железо-марганцевые конкреции как накопители тяжелых металлов в некоторых почвах Приморья // Почвоведение. – 2007. – № 12. – С. 1463-1471.
11. Водяницкий Ю.Н. Геохимия магнетита и маггемита в почвах европейской части России // Геохимия. – 2009. – № 3. – С. 314-327.
12. Водяницкий Ю.Н. Соединения железа и их роль в охране почв. – Москва: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2010. – 156 с.
13. Романова А.В. Оксидогенез железа и марганца и тяжелые металлы в аллювиальных почвах южной тайги Среднего Предуралья: автореферат дис. ... канд. биол. наук: 03.02.13. – Уфа. – 2012. – 211 с.
14. Анциферова О.А. Железомарганцевые конкреционные новообразования в почвах западной части Калининградской области // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. – 2014. – № 1. – С.

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределения в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
 =====

73-78.

15. Яшин И.М., Кашанский А.Д. Ландшафтно-геохимическая диагностика и генезис почв Европейского Севера России. 2-е издание. – Минск: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2015. – 202 с.

16. Васильев А.А., Романова А.В., Гилев В.Ю. Цвет и гидроморфизм почв Пермского края // Пермский аграрный вестник. – 2014. – № 1 (5). – С. 28-38.

17. Васильев А.А., Власов М.Н. Окислительно-восстановительное состояние и оптические свойства урбо-аллювиальных почв пойм малых рек Пермской агломерации // Материалы Международной научно-практической конференции “ИННОВАЦИИ АГРАРНОЙ НАУКИ – ПРЕДПРИЯТИЯМ АПК”. – Пермь: ПГСХА. – 2012. – С. 166-172.

18. Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Власов М.Н. Химический состав железо-марганцевых новообразований почв пермской агломерации и загрязнение почв территории тяжелыми металлами // Сборник научных трудов LXVIII Всероссийской научно-практической конференции “ПЕРМСКИЙ АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК”. – Пермь: ПГСХА. – 2008. – С. 64-67.

19. Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Кожева А.В. Тяжелые металлы в аллювиальных почвах Среднего Предуралья // Доклады РАСХН. – 2004. – № 5. – С. 23-24.

20. Васильев А.А., Романова А.В. Магнитная восприимчивость аллювиальных почв пойм рек Верхняя Мулянка и Обва Пермского края // Материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции “ИННОВАЦИОННЫЕ НАУЧНЫЕ РЕШЕНИЯ – ОСНОВА МОДЕРНИЗАЦИИ АГРАРНОЙ ЭКОНОМИКИ”. – Пермь: ПГСХА. – 2011. – С. 61-65.

21. Васильев А.А., Лобанова Е.С. Кластерный анализ связи содержания тяжелых металлов и ферритмагнитной фазы в почвах г. Перми // Материалы Международной научно-практической конференции “АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ И АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА В ПРОЦЕССЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ИНТЕГРАЦИИ”, посвященной 95-летию высшего сельскохозяйственного образования на Урале. – Пермь: ПГСХА. – 2013. – С. 207-211.

22. Романова А.В., Васильев А.А. Элементный химический состав ортштейнов и роренштейнов почв пойм рек Кама, Обва и Верхняя Мулянка Пермского края // Материалы Всероссийской научно-практической конференции "Молодежная наука 2014: технологии, инновации". – Пермь: ИПЦ Прокрость. - 2014. – Т. 1. – С. 335-337.

23. Копылов И.С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. – Пермь: ПГНИУ, 2021. – 501 с.

24. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В. Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. – Пермь: ПГНИУ, 2016. – 252 с.

25. Wang Q., Jiang Z., Sun Z. The formation environment and spatial distribution of iron-

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределения в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
 =====

manganese nodules in the Quaternary loess developed soils in northern China // Soil Journal. – 2019. Vol. 56. – № 2. – P. 288-297.

26. Jiang Z.-D. [et al.] Fe-Mn concentrations in upland loess soils in mid-continental north America: A step towards dynamic soil survey // CATENA. Elsevier. – 2021. Vol. 202. – P. 105273.

27. Росликова В.И., Гынинова А.Б. Трансформация твердой фазы текстурно-дифференцированных почв Среднего Приамурья под влиянием осушительных мелиораций и диагностическое значение Mn-Fe конкреций в этом процессе // Тихоокеанская геология. – 2012. – Т. 31. – № 3. – С. 93-104.

28. Зайдельман Ф.Р. [и др.] Темно-серые почвы на двучленных отложениях севера Тамбовской равнины: агроэкология, свойства и диагностика // Почвоведение. – 2012. – № 5. – С. 515-515.

29. Лысак Л.В. [и др.] Численность, жизнеспособность и таксономический состав наночастиц бактерий в железо-марганцевых конкрециях // Почвоведение. – 2013. – № 6. – С. 707-714.

30. Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С. Орштейны-марганцево-железистые конкреционные новообразования (итоги исследований) // Почвоведение. – 2010. – № 3. – С. 270-281.

31. Sun Z.-X. [et al.] Fe-Mn nodules in a southern Indiana loess with a fragipan and their soil forming significance // Geoderma. Elsevier. – 2018. Vol. 313. – P. 92-111.

32. Sipos P. [et al.] Changes in micro-fabric and re-distribution of Fe and Mn with nodule formation in a floodplain soil // Journal of Soils and Sediments. Springer. – 2016. Vol. 16. – № 8. – P. 2105-2117.

33. Степанцова Л.В., Волохина В.П., Никифорова А.С. Конкреционные новообразования темно-серых почв на двучленных отложениях севера Тамбовской равнины // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2012. – № 10(146). – С. 105-111.

34. Трифонова Т.А., Ширкин Л.А., Селиванова Н.В. Эколого-геохимический анализ загрязнения ландшафтов. – Владимир: Владимир Полиграф, 2007. – 169 с.

35. Szymański W., Skiba M. Distribution, morphology, and chemical composition of Fe-Mn nodules in Albeluvisols of the Carpathian Foothills, Poland // Pedosphere. Elsevier. – 2013. Vol. 23. – № 4. – P. 445-454.

36. Тимофеева Я.О. Характеристика железо-марганцевых конкреций почв Тихоокеанского побережья России // Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием “ПОЧВЫ В БИОСФЕРЕ”, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета. – 2018. – Т. 1. – С. 400-403.

37. Зайдельман Ф.Р. Новообразования (орштейны и псевдофибры) поверхностно-

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределения в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**

оглеенных супесчаных почв севера Тамбовской равнины // Почвоведение. – 2019. – № 5. – Р. 544-557.

38. Yu X., Lu S. Micrometer-scale internal structure and element distribution of Fe-Mn nodules in Quaternary red earth of Eastern China // Journal of soils and sediments. Springer. – 2016. Vol. 16. – № 2. – Р. 621-633.

39. Ji W. [et al.] Potential ecological risk assessment of heavy metals in the Fe-Mn nodules in the karst area of Guangxi, southwest China // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. Springer. – 2021. Vol. 106. – № 1. – Р. 51-56.

40. Исаев А.В. [и др.] Экогеохимия аллювиальных луговых и дерново-луговых почв заповедника «Большая Кокшага» // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». – 2020. – № 9. – С. 30-71.

41. Таргульян В.О. [и др.] Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропогенных взаимодействий. – Москва: Издательство ЛКИ, 2008. – 687 с.

42. Бабанин В.Ф. Диагностика марганцево-железистых конкреций дерново-подзолистых почв разной степени оглеения по их магнитным свойствам // Почвоведение. – 2007. – № 3. – С. 272-281.

43. Тимофеева Я.О. Роль железо-марганцевых конкреций в накоплении тяжёлых металлов в почвах участков, прилегающих к автодороге // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. – 2013. – Т. 6. – № 3. – С. 94-99.

44. Водяницкий Ю.Н., Зайдельман Ф.Р. Железистые и марганцевые минералы в конкрециях дерново-подзолистых почв разной степени оглеения на разных материнских породах // Вестник МГУ. Серия 17 Почвоведение. – 2000. – № 3. – С. 3-12.

45. Васильев А.А., Власов М.Н. Оценка эколого-геохимического состояния аллювиальных почв пойм малых рек города Пермь [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/2/st_202.pdf

46. Коротаяев Н.Я. Почвы Пермской области. – Пермь: Пермское книжное изд-во, 1962. – 276 с.

47. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. Практикум по почвоведению. – Москва: ООО "Реарт", 2017. – 164 с.

48. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в горных породах // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555-571.

49. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach // Water research. Elsevier. – 1980. Vol. 14. – № 8. – Р. 975-1001.

50. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – Москва: Из-во Академии Наук СССР, 1957. – 239 с.

51. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. – Москва: URSS,

Горохова С.М., Васильев А.А.

Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределение в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

2008. – 326 с.

52. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. – Ленинград: Наука, 1980. – 187 с.
=====

Цитирование:

Горохова С.М., Васильев А.А. Эколого-геохимическая оценка содержания химических элементов и особенности их пространственного распределение в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – №1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/1/st_114.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/202121114>.