



УДК 631.618

<https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.37.89>

Формы железа в почвах естественных ландшафтов Верхнего Приангарья

Н. Д. Киселёва¹, В. Г. Двуреченский^{2,3}

¹*Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия*

²*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Новосибирск, Россия*

³*Новосибирский государственный педагогический университет, г. Новосибирск, Россия*
E-mail: nata_kis71@list.ru

Аннотация. Исследованы содержание, состав и соотношение различных форм железа и их распределение по профилю почв, формирующихся на гипсоносных карбонатных красноцветных кембрийских осадочных породах в долине р. Залари (Верхнее Приангарье). Обсуждается влияние условий среды и особенностей генезиса почв на распространённость и процессы перераспределения железа, степень развития оксидогенеза.

Ключевые слова: формы железа, почвообразовательный процесс, гипсоносные почвы естественного ландшафта, Верхнее Приангарье.

Для цитирования: Киселёва Н. Д., Двуреченский В. Г. Формы железа в почвах естественных ландшафтов Верхнего Приангарья // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2021. Т. 37. С. 89–100. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.37.89>

Введение

А. А. Роде [1976] определил почвообразование как «совокупность явлений превращения и передвижения веществ и энергии, протекающих в почвенной толще». Важнейшим среди упомянутых процессов является преобразование минералов почвообразующих пород, скорость которого определяется основными факторами: характеристиками климата и биоты, водно-физическими и другими свойствами почв.

Железо занимает одно из ведущих мест по содержанию в почвах среди других элементов (кларк составляет 4,65 единицы) и, обладая способностью менять валентность и свойства, диагностирует типовые и подтиповые особенности многих почв, а главное – направление почвообразовательного процесса. Известно, что содержание его в почвах колеблется от 2 до 35 %, повышаясь в тонких фракциях до 10–45 % [Зонн, Рукака, 1978]. Железо определяет различную окраску почв, обусловленную степенью его гидратированности и, следовательно, классифицирует их по водному режиму. Во многих почвах железо не только не выносится из профилей, но его содержание даже относительно увеличивается, что указывает на меньшую подвижность этого элемента сравнительно с другими.

Групповой и фракционный состав железа в профилях почв естественных и техногенных ландшафтов имеет диагностическое значение, выражая ход различных внутрипочвенных процессов (накопление гумуса, микроагрегация, формирование органо-минеральных комплексов). Чувствительность железа к изменению окислительно-восстановительных условий, способность образовывать комплексные соединения с органическими кислотами, склонность к гидролизу определяют одно из его главных свойств – способность отражать различные стадии, или этапы, почвообразовательного процесса [Зонн, 1982; Двуреченский, 2011].

Железо, находящееся в почвах любых ландшафтов и определяемое химическими и физико-химическими методами, делится на следующие группы: 1) общее, или валовое, распространение которого в профиле отражает его перераспределение; 2) силикатное (связанное в минералах); 3) несиликатное – свободное железо. Эти соединения могут служить показателем относительной молодости почв и пород. Образующаяся при выветривании железистых силикатных минералов аморфная форма несиликатного железа [Зонн, Маунг Вин-Хтин, 1971; Бабанин, 1986] подвижна и в связи с этим может служить индикатором хода почвообразования.

В настоящей работе учитывались общие геохимические закономерности поведения названных форм в профиле почв: 1) соотношение силикатных и свободных (несиликатных) форм соединений железа служит показателем интенсивности выветривания минеральной части почв естественных и техногенных ландшафтов – чем больше доля свободных форм железа, тем выше интенсивность выветривания. Определение соотношения силикатного и несиликатного железа и анализ особенностей его распределения необходимы для выяснения степени преобразования железосодержащих минералов в почвообразующей толще; 2) свободные кристаллические гидроокисные и окисные формы соединений железа лишены подвижности, так как в нейтральных и слабощелочных интервалах значений рН почв они нерастворимы и не переходят в другое состояние; 3) аморфные соединения железа (связанные и не связанные с органическим веществом почвы) относят к самым подвижным формам; органоминеральные аморфные соединения обладают подвижностью, но в большинстве почв содержатся в небольшом количестве, и их участие в общем геохимическом перераспределении железа ничтожно; лишь при значительном накоплении грубой подстилки, являющейся источником кислот органического происхождения, роль таких соединений становится определяющей.

Цель исследования – изучение содержания, состава и соотношения различных форм железа и распределение их по профилю почв, формирующихся на гипсоносных карбонатных красноцветных кембрийских осадочных породах в северо-западной части Верхнего Приангарья.

Материалы и методы

Исследован естественный ландшафт вблизи пос. Нукуты (Нукутский район Иркутской области), представляющий собой холмистую равнину по обоим бортам долины р. Залари.

Объектами изучения послужили почвы, формирующиеся на продуктах выветривания и переотложения кембрийских осадочных пород, главной особенностью которых является карбонатно-сульфатный состав.

Для отбора материала было заложено 6 разрезов по катене на левом и правом берегах р. Залари. Почвенные образцы отбирались послойно, каждые 10 см в трёх повторностях.

Разрез 1 заложен вблизи источника «Нукутская Мацеста», на левом берегу р. Залари. AU–AUca,cs–BCA,cs–BCA – почва луговая, глубокосолончатая малогумусная маломощная.

Разрез 2 заложен на удалении 50–60 м от источника «Нукутская Мацеста», на середине склона холма. H–AUca–BCA,cs–Bca,cs–Ccs – почва чернозёмовидная карбонатно-сульфатная многогумусная маломощная.

Разрез 3 заложен на вершине склона холма. AU1–AU2–BC–CCA – чернозём карбонатный многогумусный маломощный.

Почвы катены левого берега морфологически сходны: верхние горизонты сухие, представляющие собой сухую неминерализованную дернину; остатки корней травянистой растительности не разлагаются, а цементируются почвенными карбонатами. В связи с этим верхний горизонт обозначен символом AJ, подразумевающим невысокое содержание органического вещества и разреженность дернины. Нижележащие горизонты щебнистые; по всему профилю наблюдается бурное вскипание от соляной кислоты.

Разрез 4 заложен на правом берегу р. Залари на вершине склона холма.

AJCA–BCA–BCAcs–DCA,cs – бурая аридная карбонатная гипсоносная эродированная.

Разрез 5 заложен на середине склона холма. AJCA–BCA–BCAcs–DCA,cs – бурая аридная карбонатная гипсоносная эродированная.

Разрез 6 заложен у подошвы склона холма. AJ–BCA–CCA – бурая аридная карбонатно-сульфатная.

Почвы, формирующиеся на правом берегу, обладают рядом сходных признаков: буро-красная окраска всего профиля, унаследованная от породы; высокая задернованность; сухость и твёрдость слоёв; по всему профилю наблюдается бурное вскипание от соляной кислоты; профиль испещрён белыми пятнами и конкрециями – свидетельствами выхода гипсоносных пород низкой степени выветрелости.

Образцы проанализированы в лаборатории Центра агрохимической службы «Иркутский». Пробоподготовка и анализ проведены в соответствии с общепринятыми методиками [Аринушкина, 1970; Теория и практика ... , 2006].

Железо подразделялось на формы по классификации, предложенной С. В. Зонном [1982]. Определялось общее (валовое) содержание железа ($Fe_{вал}$), силикатное ($Fe_{вал} - Fe_{д}$) и несиликатное ($Fe_{д}$), извлекаемое из почвы методом Мера и Джексона в модификации Коффина, аморфное железо (Fe_0) определялось методом Тамма [Аринушкина, 1970; Зонн, Рукака, 1978].

Результаты и обсуждение

Красноцветность кембрийских пород в первую очередь свидетельствует о наличии в них минералов железа. Формирование почв на продуктах выветривания происходит под действием своеобразного гидротермического режима, при этом железо играет здесь важную роль.

Гипсоносные почвы формировались и формируются на делювии кембрийских осадочных пород в условиях холмисто-равнинного рельефа, обусловленного водно-эрозионными процессами, создавшими расчленение поверхности многочисленными долинами и ложбинами. Гипсоносные почвы расположены на возвышенных частях первых надпойменных речных террас, а также в пониженных частях рельефа и в долинах рек. Климатические условия формирования почв можно отнести к засушливым. Тип водного режима выпотной [Киселева, Лопатовская, 2010].

В зависимости от содержания валового железа (табл. 1) почвы были дифференцированы по степени ожелезнённости [Водяницкий, 1989]:

1. Левый берег р. Залари: а) чернозёмная почва имеет умеренно низкую степень ожелезнённости профиля; б) в луговой почве средняя часть профиля с очень низкой степенью; верхняя и нижняя – с умеренно низкой степенью; в) во всём профиле чернозёмовидной почвы отмечается низкая степень содержания валового железа.

2. Правый берег р. Залари: бурая аридная почва на вершине, средней и нижней части склона относится к умеренно низкой группировке почв по степени ожелезнённости, причём содержание валового железа больше всего внизу склона, что связано с полугидроморфными условиями этой части ландшафта, в которых железо аккумулируется.

Таблица 1

Формы железа* и показатели pH
в почвах северо-западной части Верхнего Приангарья

Глубина см	Валовое, Fe _{вал} , %	Силикатное, Fe _{вал} - Fe _д , %	Несиликатное, Fe _д , %	Окristаллизованное, Fe _д - Fe _о , %	Аморфное, Fe _о , %	pH (H ₂ O)
Разрез 1. Почва луговая глубоководно-карбонатная маломощная						
0–10	1,23	1,10	0,13	0,13	< 0,01	8,10
10–30	0,95	0,82	0,13	0,13	< 0,01	8,33
30–50	0,26	0,15	0,11	0,11	< 0,01	8,68
50–60	0,45	0,34	0,11	0,11	< 0,01	8,52
60–70	1,10	0,98	0,12	0,12	< 0,01	8,61
70–80	1,63	1,51	0,12	0,12	< 0,01	8,45
80–90	1,24	1,11	0,13	0,13	< 0,01	8,40
90–100	1,56	1,44	0,12	0,12	< 0,01	8,36
Разрез 2. Почва чернозёмовидная карбонатно-сульфатная многогумусная маломощная						
0–10	0,55	0,41	0,14	0,14	< 0,01	7,62
10–30	0,71	0,59	0,12	0,12	< 0,01	8,20
30–40	0,68	0,56	0,12	0,12	< 0,01	8,17
40–80	0,87	0,75	0,12	0,12	< 0,01	7,80
80–90	0,73	0,62	0,11	0,11	< 0,01	7,89

Окончание табл. 1

Глубина см	Валовое, Fe _{вал} , %	Силикатное, Fe _{вал} -Fe _д , %	Несиликатное, Fe _д , %	Окристаллизованное, Fe _д -Fe _о , %	Аморфное, Fe _о , %	pH (H ₂ O)
90–100	0,58	0,44	0,14	0,14	< 0,01	7,85
100–110	0,92	0,79	0,13	0,13	< 0,01	7,80
Разрез 3. Чернозём карбонатный многогумусный маломощный						
0–10	1,46	1,31	0,15	0,15	< 0,01	8,25
10–40	1,31	1,20	0,11	0,11	< 0,01	8,40
40–50	1,24	1,12	0,12	0,12	< 0,01	8,55
50–60	1,07	0,95	0,12	0,12	< 0,01	8,63
80–90	1,36	1,21	0,15	0,15	< 0,01	8,51
Разрез 4. Почва бурая аридная карбонатная гипсоносная эродированная (вершина)						
0–10	1,16	1,08	0,08	0,08	< 0,01	8,00
10–60	1,34	1,26	0,08	0,08	< 0,01	7,85
60–80	1,20	1,12	0,08	0,08	< 0,01	8,65
80–90	1,40	1,32	0,08	0,08	< 0,01	8,80
90–100	1,20	1,12	0,08	0,08	< 0,01	8,60
Разрез 5. Почва бурая аридная карбонатная гипсоносная эродированная						
0–10	1,31	1,23	0,08	0,08	< 0,01	7,95
10–20	1,41	1,33	0,08	0,08	< 0,01	7,75
20–30	1,32	1,24	0,08	0,08	< 0,01	7,90
30–60	1,50	1,42	0,08	0,08	< 0,01	8,10
60–70	1,47	1,40	0,07	0,07	< 0,01	7,95
70–80	1,31	1,24	0,07	0,07	< 0,01	8,00
Разрез 6. Почва бурая аридная карбонатно-сульфатная						
0–10	2,40	2,00	0,40	0,40	< 0,01	7,75
10–20	2,94	2,54	0,40	0,40	< 0,01	8,00
20–30	2,24	1,86	0,38	0,38	< 0,01	8,15
30–40	2,94	2,54	0,40	0,40	< 0,01	8,15
40–80	2,16	1,80	0,36	0,36	< 0,01	7,90
80–110	2,56	2,21	0,35	0,35	< 0,01	8,05

* – формы железа расположены по мере возрастания подвижности.

Меньше всего железа содержится в почве чернозёмовидной (разр. 2); больше всего в почве бурой аридной (разр. 6). Перераспределения валового железа в почвенных профилях практически не происходит.

Невысокое содержание железа связано с наличием в материнской породе и профилях почв большого количества карбонатов, в состав которых входит кальций, являющийся своего рода антагонистом железа [Хмелёв, Танасиенко, 1983].

При сравнении свойств группового железа в почвах ландшафта выявлено определённое генетическое сходство, проявляющееся в следующем: группы железа слабо дифференцированы по профилю (см. табл. 1); силикатное железо значительно преобладает над несиликатным; во всех почвах определяются лишь следы подвижного аморфного железа. Содержание, характер распределения и соотношение различных форм железа в профиле почв диагностируют направленность генезиса: процессы почвообразования

идут по типу гумусонакопления, который ярко проявляется в слабокарбонатных, среднекарбонатных и сильнокарбонатных средах. Высвобождения железа из силикатов практически не происходит.

Процессы гумусонакопления развиваются во всех изучаемых почвах ландшафта, но интенсивней всего – на левом берегу р. Залари, где формируются чернозёмы, чернозёмовидные и луговые почвы.

На основании данных валового содержания железа и его группового состава (см. табл. 1) рассчитаны соотношения между различными формами железа [Водяницкий, 2010], которые позволили детально выявить некоторые свойства железа и поведение его в профилях изучаемых почв (табл. 2).

Таблица 2

Соотношение между различными формами железа
в почвах северо-западной части Верхнего Приангарья

Глубина, см	Fe силикатное / Fe несиликатное, %	Fe аморфное / Fe валовое, %	Fe несиликатное / Fe валовое, %	Степень оксидогенеза	Fe аморфное / Fe несиликатное, %
Разрез 1. Почва луговая, глубокосолончаковая малогумусная маломощная					
0–10	8,46	< 0,01	0,11	очень низкая	< 0,01
10–30	6,31	< 0,01	0,14	очень низкая	< 0,01
30–50	1,36	< 0,01	0,42	умеренно низкая	< 0,01
50–60	3,09	< 0,01	0,24	очень низкая	< 0,01
60–70	8,17	< 0,01	0,11	очень низкая	< 0,01
70–80	12,58	< 0,01	0,07	очень низкая	< 0,01
80–90	8,54	< 0,01	0,10	очень низкая	< 0,01
90–100	12,00	< 0,01	0,08	очень низкая	< 0,01
Разрез 2. Почва чернозёмовидная карбонатно-сульфатная многогумусная маломощная					
0–10	2,93	< 0,01	0,25	низкая	< 0,01
10–30	4,92	< 0,01	0,17	очень низкая	< 0,01
30–40	4,67	< 0,01	0,18	очень низкая	< 0,01
40–80	6,25	< 0,01	0,14	очень низкая	< 0,01
80–90	5,64	< 0,01	0,15	очень низкая	< 0,01
90–100	3,14	< 0,01	0,24	очень низкая	< 0,01
100–110	6,08	< 0,01	0,14	очень низкая	< 0,01
Разрез 3. Чернозём карбонатный многогумусный маломощный					
0–10	8,73	< 0,01	0,10	очень низкая	< 0,01
10–40	10,91	< 0,01	0,08	очень низкая	< 0,01
40–50	9,33	< 0,01	0,10	очень низкая	< 0,01
50–60	7,92	< 0,01	0,11	очень низкая	< 0,01
80–90	8,07	< 0,01	0,11	очень низкая	< 0,01
Разрез 4. Почва бурая аридная карбонатная гипсоносная эродированная (вершина)					
0–10	13,50	< 0,01	0,07	очень низкая	< 0,01
10–60	15,75	< 0,01	0,06	очень низкая	< 0,01
60–80	14,00	< 0,01	0,07	очень низкая	< 0,01
80–90	16,50	< 0,01	0,06	очень низкая	< 0,01
90–100	14,00	< 0,01	0,07	очень низкая	< 0,01
Разрез 5. Почва бурая аридная карбонатная гипсоносная эродированная					
0–10	15,38	< 0,01	0,06	очень низкая	< 0,01
10–20	16,63	< 0,01	0,06	очень низкая	< 0,01

Окончание табл. 2

Глубина, см	Fe силикатное / Fe несиликатное, %	Fe аморфное / Fe валовое, %	Fe несиликатное / Fe валовое, %	Степень оксидогенеза	Fe аморфное / Fe несиликатное, %
20–30	15,50	< 0,01	0,06	очень низкая	< 0,01
30–60	17,75	< 0,01	0,05	очень низкая	< 0,01
60–70	20,00	< 0,01	0,05	очень низкая	< 0,01
70–80	17,71	< 0,01	0,05	очень низкая	< 0,01
Разрез 6. Почва бурая аридная карбонатно-сульфатная					
0–10	5,00	< 0,01	0,17	очень низкая	< 0,01
10–20	6,35	< 0,01	0,14	очень низкая	< 0,01
20–30	4,89	< 0,01	0,17	очень низкая	< 0,01
30–40	6,35	< 0,01	0,14	очень низкая	< 0,01
40–80	5,00	< 0,01	0,17	очень низкая	< 0,01
80–110	6,31	< 0,01	0,14	очень низкая	< 0,01

По соотношению силикатного и несиликатного железа была определена степень выраженности процессов выветривания. Если принять во внимание величину этого показателя, наиболее выветрелыми оказались профили почв чернозёмовидной карбонатно-сульфатной и бурой аридной карбонатно-сульфатной. Тем не менее степень выветрелости в этих почвах имеет тенденцию к снижению с глубиной. Наименьшей степенью выветрелости характеризуются профили почвы бурой аридной карбонатной. В профиле чернозёма карбонатного степень выветрелости увеличивается с глубиной; в луговой почве степень выветрелости увеличивается от верхней части профиля к средней, где имеет максимальное значение, затем резко увеличивается с глубиной. Таким образом, показатели степени выветрелости позволили определить незначительное преобразование минеральной части профилей почв ландшафта, за исключением средней части профиля луговой почвы.

Соотношение железа аморфного к железу валовому определялась степень подвижности железа: считается, что чем подвижнее железо, тем интенсивнее проходят в почвах почвообразовательные процессы [Двуреченский, 2015]. Принимая во внимание подобное обстоятельство, установлено, что подвижность железа в исследованных почвах практически отсутствует, отмечаются лишь её следы. Такая особенность почв определяется, скорее всего, слабой выраженностью процессов почвообразования в связи с такими условиями, как каменистость, отсутствие биогенного материала, дефицит влаги на момент отбора проб.

Показатели рН, которые в почвах находятся в слабощелочных, среднещелочных и сильнощелочных зонах (см. табл. 1), также не способствуют подвижности железа.

Важным ландшафтно-геохимическим явлением выступает оксидогенез – комплекс процессов образования и накопления в почве оксидов железа, марганца и других элементов [Глазовская, 1988]. Оксидогенез железа – широко распространённый в гумидных регионах элементарный почвенный природный и (или) антропогенный ландшафтно-геохимический процесс наследования, образования, накопления и превращения оксидов и гидроксидов

дов железа, как в новообразованиях, так и в мелкозёме [Водяницкий, 1992; Алексеев, 2010].

Для того чтобы выявить степень развития оксидогенеза в почвах, было определено соотношение несиликатного и валового железа. На основании этого соотношения установлено, что во всех почвах ландшафта степень оксидогенеза очень низкая, лишь в средней части профиля луговой почвы отмечается умеренно низкая степень. В условиях аридного климата Нукутского района (особенно в тёплый и засушливый летний период, когда проводился отбор образцов) оксидогенез, скорее всего, не может развиваться за счёт выраженной кристаллизации железа и связывания его в составе силикатов. Причём чем больше оксидов железа кристаллизуется и связывается, тем слабее образуются (или вовсе не образуются) аморфные и слабоокристаллизованные формы, а значит, почвообразовательные процессы замедляются в связи с незначительным поступлением органических веществ и отсутствием высокодисперсных глинистых минералов.

Проявление оксидогенеза в условиях повышенных температур и дефицита влаги может маскироваться процессами карбонатообразования и гумусообразования, хотя процесс формирования и трансформации оксидов железа при этом происходит. Иногда складывается представление о том, что участие соединений железа в почвообразовательных процессах в подобных условиях и, следовательно, их диагностическая роль незначительны. Однако подобное впечатление обусловлено тем, что при диагностике возникают некоторые методические затруднения в связи с высокой дисперсностью соединений железа при незначительных концентрациях.

По соотношению железа аморфного несиликатного был определён критерий Швертмана [Водяницкий, 1992], который показывает степень кристаллизации свободных оксидов и гидроксидов железа. Дифференциации этого показателя не отмечается ни в одной почве ландшафта, что свидетельствует о высокой степени кристаллизации железа уже на момент отбора проб. При увеличении влажности и количества тепла, а также в анаэробных условиях кристаллизованные формы железа, скорее всего, перейдут в аморфную форму, не связанную с органическим веществом; тем не менее при усилении аэрации, увеличении дефицита влаги аморфная форма железа вновь станет кристаллической [Двуреченский, Середина, 2017].

Железо играет активную роль в почвенно-геохимических процессах аридных ландшафтов, что позволяет использовать его состояние в качестве информативного показателя при действии различных факторов природного или антропогенного характера. Железо в почвах исследованного участка Верхнего Приангарья, в которых преобладает среднещелочная и сильнощелочная окислительная среда, не высвобождается из кристаллической решетки слоистых силикатов в ходе выветривания, так как и самого выветривания, в общем, не происходит. Железо представлено преимущественно силикатной формой. В связи с условиями почвообразования (дефицит влаги, каменистость и пр.) формирование или трансформация гидроксидов и оксидов железа невозможны. Перераспределения железа в почвенном растворе не

происходит, поскольку нет достаточного для этого количества влаги. В гумидных же условиях миграция железа происходит в виде высокодисперсных коллоидов или аморфного железа, связанного с органическим веществом. Коагуляция и осаждение форм железа происходят на окислительно-восстановительном барьере, связанном с изменением ионной силы почвенных растворов [Соколов, 2009]. В связи с этим во всех исследованных почвах ландшафта железо не дифференцировано по профилю – горизонты его аккумуляции отсутствуют.

Выводы

1. На гипсоносных карбонатных красноцветных кембрийских осадочных породах Верхнего Приангарья в южной экспозиции склонов формируются бурые аридные карбонатные почвы; в северной экспозиции – чернозёмы, чернозёмовидные и луговые почвы. Ведущим почвообразовательным процессом в ландшафте определён процесс гумусонакопления, который чётко проявляется в почвах на склонах левого берега р. Залари.

2. Степень ожелезнённости почв левого берега р. Залари варьируется от умеренно низкой до очень низкой; правого берега – умеренно низкая. Группы железа в профилях слабо дифференцированы. Силикатное железо значительно преобладает над несиликатным. Во всех почвах ландшафта определяются только следы аморфного железа.

3. Значительное преобладание силикатных форм железа над несиликатными указывает на низкую интенсивность и слабое развитие процессов выветривания. Подвижность железа в почвах ландшафта практически отсутствует в связи с недостаточным количеством аморфной формы. Во всех почвах ландшафта степень оксидогенеза очень низкая. Кристаллизации свободных оксидов и гидроксидов железа не происходит по причине их отсутствия.

Список литературы

- Алексеев А. О. Оксидогенез железа в почвах степной зоны : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2010. 48 с.
- Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М. : Изд-во Моск. гос. ун-та, 1970. 487 с.
- Бабанин В. Ф. Формы соединений железа в твердой фазе почв : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1986. 43 с.
- Водяницкий Ю. Н. Оксиды железа и их роль в плодородии почв. М. : Наука, 1989. 160 с.
- Водяницкий Ю. Н. Образование оксидов железа в почве. М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева РАСХН, 1992. 275 с.
- Водяницкий Ю. Н. Соединения железа и их роль в охране почв. М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева РАСХН, 2010. 139 с.
- Глазовская М. А. Природные ландшафтно-генетические процессы и их проявление на территории СССР // Вестник МГУ. Серия: География. 1988. № 5. С. 3–9.
- Двуреченский В. Г. Географо-генетическая характеристика форм железа в эмбриоземах Кузбасса : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2011. 19 с.
- Двуреченский В. Г. Динамика группового состава железа в почвах техногенных ландшафтов лесостепных участков Кузнецкой котловины // Сибирский экологический журнал. 2015. № 1. С. 136–144.

Двуреченский В. Г., Середина В. П. Почвенно-экологическое состояние и пути восстановления техногенных экосистем лесостепного пояса Кузнецкой котловины // Безопасность жизнедеятельности. 2017. № 12. С. 47–52.

Зонн С. В., Маунг Вин-Хтин. О формах железа, методах их определения и значения для диагностики тропических почв // Почвоведение. 1971. № 5. С. 7–20.

Зонн С. В., Рукака А. Н. Методы определения несиликатных форм железа в почвах // Почвоведение. 1978. № 2. С. 89–101.

Зонн С. В. Железо в почвах. М. : Наука, 1982. 208 с.

Киселева Н. Д., Лопатовская О. Г. Особенности профилейного распределения гипса в некоторых почвах Приангарья // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2010. № 9. С. 17–22.

Роде А. А. Почвообразовательные процессы и их изучение стационарным методом // Принципы организации и методы стационарного изучения почв. М. : Наука, 1976. С. 5–33.

Соколов Д. А. Окислительно-восстановительные процессы в почвах техногенных ландшафтов : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2009. 17 с.

Теория и практика химического анализа почв / ред. Л. А. Воробьева. М. : ГЕОС, 2006. 400 с.

Хмелев В. А., Танасиенко А. А. Черноземы Кузнецкой котловины. Новосибирск : Наука, 1983. 256 с.

Forms of Iron in Soils of Natural Landscapes of Upper Preangaria (East Siberia)

N. D. Kiseleva¹, V. G. Dvurechenskiy^{2, 3}

¹*Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation*

²*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Russian Federation*

³*Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation*

Abstract. Iron occupies one of the leading places among other elements in terms of content in soils and, having the ability to change valence and properties, diagnoses the typical and sub-type features of many soils, and most importantly, the direction of the soil formation process. Gypsum-bearing soils are formed on the deluvium of the Cambrian sedimentary rocks, in conditions of a hilly-flat relief, caused by water-erosion processes that have created surface dissections by numerous valleys and hollows. Gypsum-bearing soils are located on the elevated parts of the relief of the first floodplain river terraces, as well as in the lower parts of the relief and in river valleys. The climatic conditions of soil formation can be classified as arid. The amount of precipitation in the study area is much less than evaporation. The content, composition, and ratios of various forms of iron and the profile distribution of soils formed on gypsum-bearing red-colored Cambrian sedimentary rocks of the Upper Angara region were studied. For this, the composition of the soil cover in the landscape under study and the soil-forming processes taking place in the soils were determined: brown arid calcareous soils are formed in the southern exposure of the slopes; in the northern exposure - chernozems, chernozems and meadow soils. An important morphoanalytical feature of soils is the presence of significant amounts of gypsum and carbonates in the profile. The leading soil-forming process in the landscape is the process of humus accumulation, which is clearly manifested in soils on the slopes of the left bank of the Zalari River. The group composition of iron was determined by analytical methods. The ratios of various iron groups, which are characteristic of landscape soils, and the regularities of the distribution of groups in soil profiles have been established. It was revealed that

the degree of ferruginization of the soils of the left bank is in moderately low and very low limits; the degree of ferruginization of soils on the right bank is moderately low. The iron groups in the profiles are poorly differentiated. Silicate iron prevails over non-silicate. The significant predominance of silicate forms of iron over non-silicate forms indicates a low intensity and weak development of weathering processes. In all soils of the landscape, only traces of amorphous iron are determined. The mobility of iron in the soils of the landscape is practically absent, due to the insufficient amount of the amorphous form. In all landscape soils, the degree of oxidogenesis is very low. Crystallization of free iron oxides and hydroxides does not occur due to their absence.

Keywords: forms of iron, soil formation process, gypsum-bearing soils of natural landscapes, Upper Preangaria.

For citation: Kiseleva N.D., Dvurechenskiy V.G. Forms of Iron in Soils of Natural Landscapes of Upper Preangaria (East Siberia). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2021, vol. 37, pp. 89-100. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.37.89> (in Russian)

References

- Alekseev A.O. *Oksidogenez zheleza v pochvakh stepnoi zony* [Oxidogenesis of iron in the soils of the steppe zone]. Dr. sci. diss. abstr. Moscow, 2010, 48 p. (in Russian)
- Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Guide on Soil Chemical Analysis]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1970, 487 p. (in Russian)
- Babanin V.F. *Formy soyedineniy zheleza v tverдой faze pochvy* [Forms of iron compounds in the solid phase of soil]. Dr. sci. diss. abstr. Moscow, 1986, 43 p. (in Russian)
- Vodyanitskiy Yu.N. *Oksidy zheleza i ikh rol v plodorodii pochv* [Iron oxides and their role in soil fertility]. Moscow, Nauka Publ, 1989, 160 p. (in Russian)
- Vodyanitskiy Yu.N. *Obrazovanie oksidov zheleza v pochve* [Formation of iron oxides in the soil]. Moscow, Dokuchaev Soil Inst. Publ., 1992, 275 p. (in Russian)
- Vodyanitskiy Yu.N. *Soedineniya zheleza i ikh rol v okhrane pochv* [Iron compounds and their role in soil conservation]. Moscow, Dokuchaev Soil Inst. Publ., 2010, 139 p. (in Russian)
- Glazovskaya M.A. *Prirodnye landshaftno-geneticheskie protsessy i ikh proyavlenie na territorii SSSR* [Natural landscape-genetic processes and their manifestation in the USSR]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya Geografiya* [Bull. Moscow St. Univ. Ser. Geography], 1988, no. 5, pp. 3-9. (in Russian)
- Dvurechenkiy V.G. *Geografo-geneticheskaya kharakteristika form zheleza v embriozemakh Kuzbassa* [Geographical and genetic characteristics of iron forms in embryozems of Kuzbass]. Cand. sci. diss. abstr. Novosibirsk, 2011, 19 p. (in Russian)
- Dvurechenkiy V.G. *Dinamika gruppovogo sostava zheleza v pochvakh tekhnogennykh landshtov lesostepnykh uchastkov Kuznetskoi kotloviny* [Dynamics of iron group composition in the soils of technogenic landscapes of forest-steppe areas of the Kuznetsk Basin]. *Contemp. Probl. Ecol.*, 2015, no. 1, pp. 136-144. (in Russian)
- Dvurechenkiy V.G., Seredina V.P. *Pochvenno-ekologicheskoe sostoyanie i puti vostanovleniya tekhnogennykh ekosistem lesostepnogo poyasa Kuznetskoi kotloviny* [Soil-ecological state and ways to restore technogenic ecosystems of the forest-steppe belt of the Kuznetsk Basin]. *J. Life Safety*, 2017, no. 12, pp. 47-52. (in Russian)
- Zonn S.V., Maung Win-Hteen. *O formakh zheleza, metodakh ikh opredeleniya i znacheniya dlya diagnostiki tropicheskikh pochv* [On forms of iron, methods of their determination and significance for the diagnosis of tropical soils]. *Euras. Soil Sci.*, 1971, no. 5, pp. 7-20. (in Russian)
- Zonn S.V., Rukaka A.N. *Metody opredeleniya nesilikatnykh form zheleza v pochvakh* [Methods for the determination of non-silicate forms of iron in soils]. *Euras. Soil Sci.*, 1978, no. 2, pp. 89-101. (in Russian)
- Zonn S.V. *Zhelezo v pochvakh* [Iron in the soils]. Moscow, Nauka Publ, 1982, 208 p. (in Russian)

Kiseleva N.D., Lopatovskaya O.G. *Osobennosti raspredelenia gipsovogo profile v neco-torih pochvakh Priangarya* [Peculiarities of gypsum profile distribution in some soils in Priangarye]. Bull. Krasnoyarsk St. Agric. Univ., 2010, no. 9, pp. 17-22. (in Russian)

Rode A.A. *Pochvoobrazovatelnye protsessy i ikh izuchenie statsionarnym metodom* [Soil-formation processes and their study by the stationary method]. *Printsipy organizatsii i metody statsionarnogo izucheniya pochv* [Principles of organization and methods of stationary soil study]. Moscow, Nauka Publ, 1976, pp. 5-33. (in Russian)

Sokolov D.A. *Okislitelno-vosstanovitelnye protsessy v pochvakh tekhnogennykh land-shaftov* [Redox processes in soils of technogenic landscapes. Cand. sci. diss. abstr.]. Novosibirsk, Int. Soil Sci. Agrochem. SB RAS, 2009, 17 p. (in Russian)

Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv [Theory and practice of chemical analysis of soils]. Moscow, GEOS Publ., 2006, 400 p. (in Russian)

Khmelev V.A., Tanasienko A.A. *Chernozemy Kuznetskoi kotloviny* [Chernozems of the Kuznetsk basin]. Novosibirsk, Nauka Publ, 1983, 256 p. (in Russian)

Киселёва Наталья Дмитриевна
старший преподаватель
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: nata_kis71@list.ru

Kiseleva Natalya Dmitrievna
Senior Lecturer
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: nata_kis71@list.ru

Двуреченский Вадим Геннадьевич
кандидат биологических наук,
доцент
Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет,
Россия, 630008, г. Новосибирск,
ул. Ленинградская, 113
доцент
Новосибирский государственный
педагогический университет
Россия, 630126, г. Новосибирск,
ул. Ленинградская, 28
e-mail: dvu-vadim@yandex.ru

Dvurechenskiy Vadim Gennadievich
Candidate of Science (Biology)
Assistant Professor
Novosibirsk State University of Architecture
and Civil Engineering
113, Leningradskaya st., Novosibirsk,
630008, Russian Federation
Assistant Professor
Novosibirsk State Pedagogical University
28, Vilyuyskaya st., Novosibirsk, 630126,
Russian Federation
e-mail: dvu-vadim@yandex.ru

Дата поступления: 20.11. 2020

Received: December, 20, 2020