



Серия «Биология. Экология»
2024. Т. 48. С. 37–52
Онлайн-доступ к журналу:
<http://izvestiabio.isu.ru/ru>

ИЗВЕСТИЯ
Иркутского
государственного
университета

Научная статья

УДК 631.445.52 (571.54)
<https://doi.org/10.26516/2073-3372.2024.48.37>

Почвы степей Нижнеоронгойской котловины (Западное Забайкалье)

В. И. Убугунова, Т. А. Аюшина, Ц. Н. Насатуева*

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, Россия
E-mail: ubugunova57@mail.ru

Аннотация. Исследованы морфологическое строение, гранулометрический состав и основные физико-химические свойства степных почв на участке модельного полигона Нижнеоронгойской котловины (Республика Бурятия) на основании данных с серии полнопрофильных разрезов и прикопок на петрофитных и луговых степях. Определены основные почвообразовательные процессы, диагностированы типы почв. Описаны различия степных почв котловины по соотношению обменных катионов (Ca/Mg).

Ключевые слова: степные почвы, морфология, физико-химические свойства, Нижнеоронгойская котловина.

Благодарности. Авторы благодарны Э. Г. Цырепилову и А. Д. Жамбаловой за помощь в проведении полевых исследований.

Работа выполнена в рамках комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН по теме «Эволюция, функционирование и эколого-биогеохимическая роль почв Байкальского региона в условиях аридизации и опустынивания, разработка методов управления их продуктивными процессами» № АААА-А17-117011810038-7; ФАНО 0337-2016-0005.

Для цитирования: Убугунова В. И., Аюшина Т. А., Насатуева Ц. Н. Почвы степей Нижнеоронгойской котловины (Западное Забайкалье) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2024. Т. 48. С. 37–52. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2024.48.37>

Research article

Steppe Soils of the Nizhneorongoy Depression (Western Transbaikalia)

V. I. Ubugunova, T. A. Ayushina, Ts. N. Nasatueva*

Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russian Federation

Abstract. The morphological structure, granulometric composition and basic physical and chemical properties of steppe soils in the model site of the Nizhneorongoy Depression (Republic of Buryatia) were investigated on the basis of data from a series of full-profile transects and excavations on petrophytic and meadow steppes. The diversity of steppe areas of the Nizhneorongoy Basin is represented by three types of soils: lithozem, light-humus saline and non-saline, light-humus accumulative-carbonate solonetzic. Lithozems and light-humus soils are widespread in the foothill part of the Khamar-Daban ridge. They are characterized by good aeration, light granulometric composition (sandy, sandy loam), low content of humus and exchangeable cations, dominance of exchangeable

© Убугунова В. И., Аюшина Т. А., Насатуева Ц. Н., 2024

*Полные сведения об авторах см. на последней странице статьи.
For complete information about the authors, see the last page of the article.

calcium in the composition of cations (60-82 % of the sum) typical for steppe type of soil formation, absence of salinization. Differences between lithozem and light-humus soils are expressed in profile thickness, stoniness. Complex neotectonic structure of the territory determined heterogeneity of geomorphologic structure of the inner field of the depression. In its accumulative part there are numerous rises, on which grass steppes grow. Soils of these positions are represented by light-humus saline and light-humus accumulative-carbonate solonchaks. These soils have neutral and slightly alkaline pH reaction, higher indices of humus quantity and absorption capacity in comparison with lithozems. The features of these soils are heavier granulometric composition (loam, clay), high share of exchangeable magnesium in the composition of exchangeable cations, carbonation and weak salinization of the lower part of the profile. Salinization chemistry is chloride-sodium and soda-chloride in terms of anions, sodium and magnesium-sodium in terms of cations. In all studied soils there are no median metamorphic horizons. The main soil-forming processes are light-humus accumulation of organic matter, hydrogenic accumulation of carbonates and salinization processes. The diagnostic value of exchangeable calcium and magnesium ratios has been established, which shows steppe (calcium dominance) or meadow (magnesium dominance) trends of soil formation.

Keywords: steppe soils, morphology, physical and chemical properties, Nizhneorngoy depression.

For citation: Ubugunova V.I., Ayushina T.A., Nasatueva Ts.N. Steppe Soils of the Nizhneorngoy Depression (Western Transbaikalia). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2024, vol. 48, pp. 37-52. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2024.48.37> (in Russian)

Введение

Оронгойская котловина расположена в центральной части Западного Забайкалья в Орхон-Селенгинском среднегорье (Иволгинский район Республики Бурятия). Здесь отмечается заметное флористическое и фаунистическое разнообразие природных комплексов, представленных водораздельными березняками, остепнёнными лиственничниками, осинниками, черёмуховыми зарослями, ильмовой лесостепью, зональными степями, сочетающимися с луговыми, галофитными и кустарниковыми сообществами [Комплексная экологическая оценка ... , 2015]. На этой территории обосновано выделение ландшафтных памятников природы местного значения [Организация биоты степных..., 2018; Экологическая паспортизация памятников ... , 2015; Елаев, Пыжикова, Тубденова, 2016; Елаев, Рудых, Шугаева, 2017; Елаев, Шугаева, 2018]. Одним из базовых компонентов экосистем является почва, выступающая в качестве связующего звена их абиотических и биотических составляющих [Добровольский, Никитин, 2012]. Почва обладает наиболее выраженной способностью к отражению действия факторов географической среды [Таргульян, Соколов, 1978; Jenny, 1994; Sparks, 2003] и является носителем информации о функционировании и формировании ландшафта [Козловский, Горячкин, 2008]. Среди почв этого района изучались только засоленные почвы приозёрных участков центрального сегмента котловины [Хутакова, Убугунова, 2014; Хутакова, Аюшина, Убугунова, 2014; Аюшина, Убугунова, Хутакова, 2010; Ayushina, Ubugunov, 2017].

В настоящей работе основное внимание уделено исследованию почв зональных степей Нижнеоронгойской котловины.

Материалы и методы

Оронгойская котловина имеет сложное геоморфологическое строение, что послужило основанием для выделения Верхне- и Нижнеоронгойской

котловин. Протяжённость её 59 км, ширина от 2 до 14 км, высота 530–640 м над у. м. [Экосистемы бассейна Селенги ... , 2005]. С севера котловина обрамляется хребтом Хамар-Дабан, с юга – отрогами Ганзуринского хребта. Основные горные породы – это палеозойские граниты, гранодиориты Ангаро-Витимского батолита и щелочные силикатные породы карбонатитов и трахибазальтов. Возраст образования этой котловины мезозойский. Особенностью её является пограничное положение между кайнозойскими и мезозойскими структурами. В тектоническом отношении характерна умеренная активация. Это проявляется разрывными нарушениями, разгрузкой трещинно-жильных вод в виде озёр и минеральных источников. Климат территории резко континентальный [Экологический атлас бассейна ... , 2015]. Среднегодовая температура отрицательная, характерна высокая амплитуда температур, среднегодовое количество осадков составляет 200–300 мм, испаряемость до 650 мм [Предбайкалье и Забайкалье..., 1965].

В качестве модельного полигона для изучения степных почв Нижнеоронгойской котловины была выбрана её северо-восточная часть (рис. 1), где в 2018–2021 гг. были заложены полнопрофильные разрезы и прикопки (табл. 1). Морфологическое описание почвенных профилей выполняли с использованием известных руководств [Базовые шкалы свойств ... , 1982]. Названия почв приведены в соответствии с Классификацией почв России [Классификация и диагностика..., 2004; Полевой определитель почв ... , 2008].

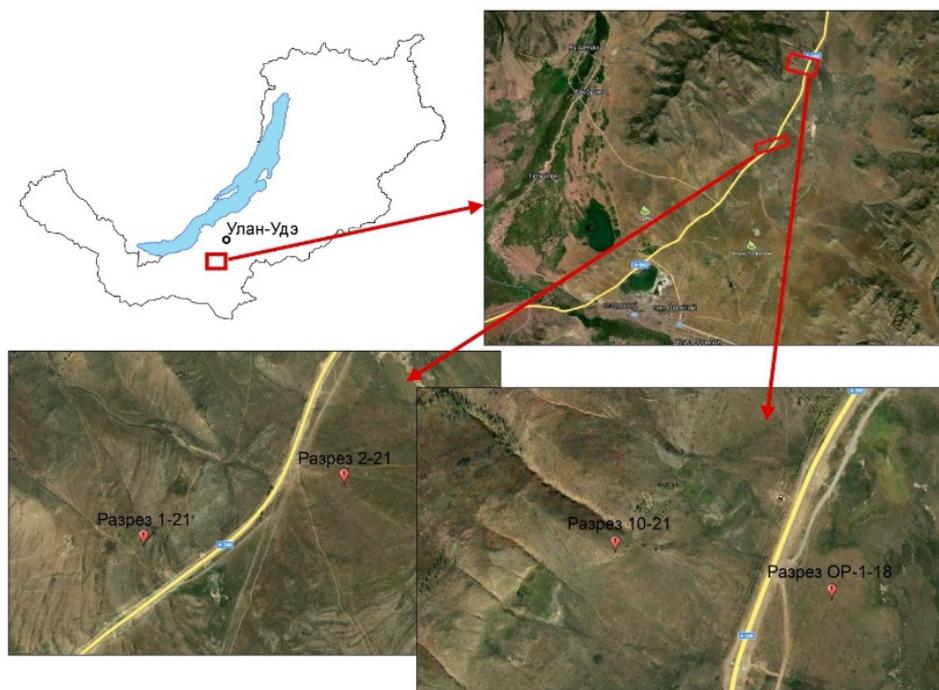


Рис. 1. Космоснимок модельного полигона с почвенными разрезами на подгорном шлейфе отрогов хр. Хамар-Дабан (разрезы 10-21, 1-21) и на возвышенных участках впадины Нижнеоронгойской котловины (разрезы 2-21, ОП-1-18)

Географические координаты всех основных объектов исследования регистрировали с помощью приёмников GPS. На участках разрезов в почве с естественной влажностью измерены окислительно-восстановительный потенциал Eh (с использованием рН-метра-иономера «Экотест-120» («Эко-никс», Россия)), температура, полевая влажность. В лаборатории определяли $pH_{\text{водн}}$ («Экотест-120») и удельную электропроводность (кондуктометр СОМ-100 (HM Digital, Респ. Корея)). Определение органического углерода выполняли методом мокрого сжигания по Тюрину, содержание карбонатов – газовольно-метрическим методом, гранулометрический состав – методом Качинского, скелетность – по Качинскому [Агрехимические методы исследования ... , 1975], определение обменных катионов – по Пффеферу [Руководство по лабораторным ... , 1990], содержание и состав легкорастворимых солей – из водной вытяжки 1:5 [Аринушкина, 1970].

Таблица 1

Краткая характеристика почвенных разрезов, заложённых в северо-восточной части Нижнеоронгойской котловины

| | Обозначение разреза | | | |
|---|--|---|--|--|
| | 10-21 | 1-21 | 2-21 | ОР-1-18 |
| Координаты (высота над у. м., м) | N51° 37' 30,9" E107° 07' 39,4" (722) | N51° 35' 35,7" E107° 06' 14,7" (652) | N51° 35' 46,7" E107° 07' 11,1" (643) | N51° 62' 40,7" E107° 13' 52,5" (677) |
| Особенности рельефа | Средняя часть склона южной экспозиции (крутизна 10–15°) отрогов хр. Ха- мар-Дабан | Средняя часть пологого склона (крутизна 3–5°) южной экспози- ции отрогов хр. Хамар-Дабан | Нижняя часть склона отрога хр. Хамар-Дабан, на повышениях во внутренней части впадины | Предгорно- наклонная рав- нина, на повы- шениях во внут- ренней части впадины |
| Растительное сообщество, общее проек- тивное по- крытие (%) | Бесстебельно- лапчатково- холоднопопын- ное сообщество (10–15) | Гребенчатожит- няково- крыловоковыль- ное (40) | Крыловоко- выльное (30) | Крыловоковыль- ное (35) |
| Почвенный профиль | AJ-AJC-C _{ca} | AJ-AJC-C | AJ-AJC-C _{ca,s} | AJ-BCA-C _{ca,sn} |
| Название | Литозём светло- гумусовый | Светлогумусовая | Светлогумусо- вая солончако- ватая | Светлогумусовая аккумулятивно- карбонатная сол- онцеватая |
| Отдел | Литозёмы | Органо-аккумулятивный | | Светлогумусовый аккумулятивно- карбонатный |

Результаты и обсуждение

Участки петрофитно-разнотравной степи на изученной территории встречаются преимущественно на сильнокаменистых выходах коренных пород на горных склонах, на подгорном шлейфе, а также в самой котловине на возвышенностях. На поверхности почвы встречаются обломки горных пород разного размера. Ниже приводим морфологическое строение почв на заложённых разрезах (рис. 2).

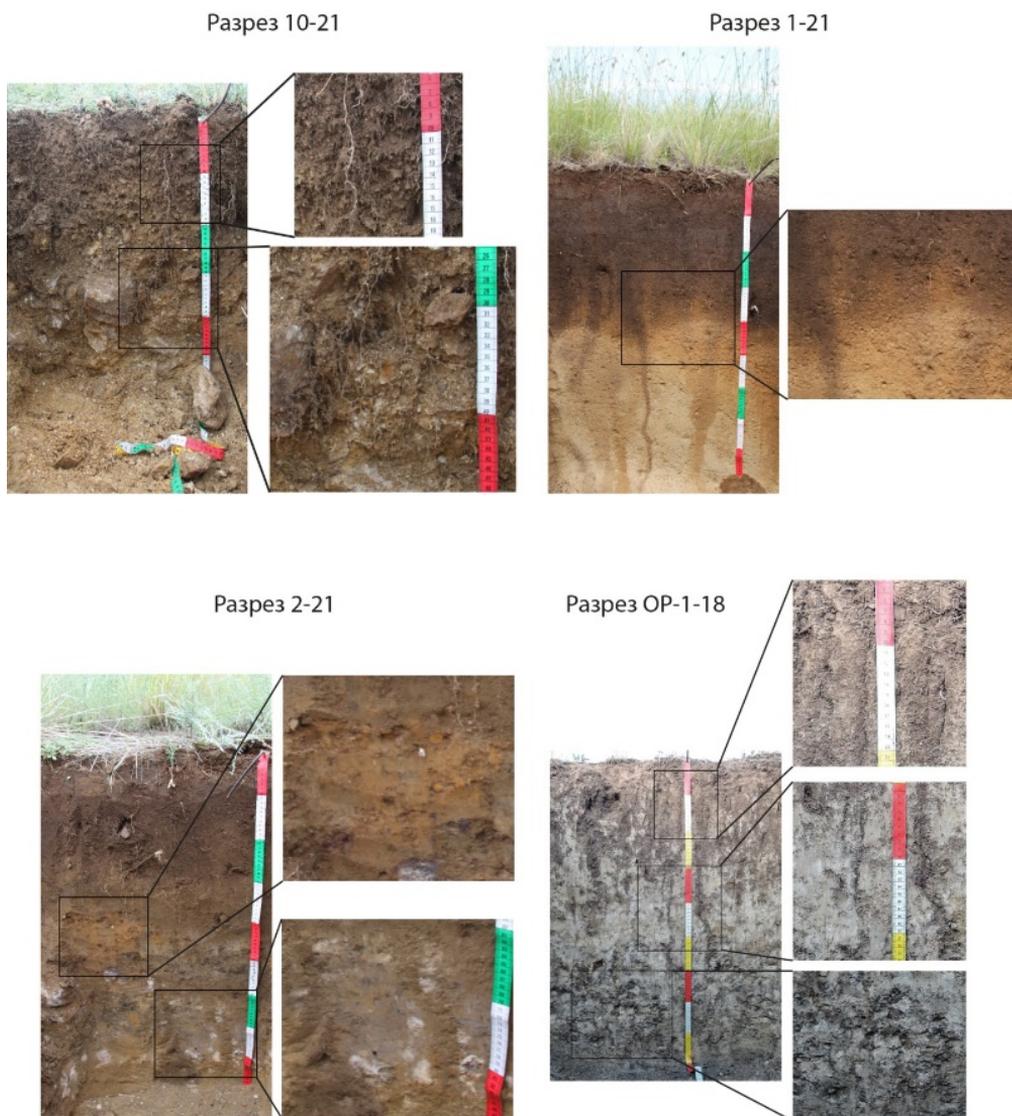


Рис. 2. Морфологическое строение почв на разрезах, заложенных в северо-восточной части Нижнеоронгойской котловины: литозёмы светлогумусовые (разрез 10-21); светлогумусовые почвы (разрез 1-21); светлогумусовые солончаковатые почвы (разрез 2-21); светлогумусовые аккумулятивно-карбонатные солонцеватые почвы (разрез OP-1-18)

Разрез 10-21 (заложен 07.06.2018)

AJ 0–10(28) см. Каштановый (5YR 2,5/2), плотный из-за каменистости, свежий ($W = 3,9\%$), бесструктурный, мелкозём супесчаный, 80 % от объёма занято мелкими камнями. Температура почвы 25,6 °С. Горизонт густо пронизан корнями, не вскипает от HCl. Переход заметный по цвету, граница относительно ровная, карманная.

АЖС 10(28)–36 см. Неоднородно окрашенный желтовато-серый с каштановым оттенком, плотный, бесструктурный, свежий ($W = 4,4\%$), супесчаный, встречаются корни, степень каменистости составляет 80–90 %, преобладают крупные камни, в нижней части которых выражена карбонатная борodka, бурно вскипающая от HCl, мелкозём не вскипает от HCl. Переход заметный по цвету, размеру камней, граница ровная.

Сса 36–54 см. Неоднородно окрашенный желтовато-серый с ржавыми и белёсыми пятнами карбонатов, плотный, слегка увлажнённый ($W = 7,0\%$), степень каменистости более 90 %, вскипает от HCl. Мелкозём супесчаный. Температура почвы 19,0 °С.

Тип почвы – литозём светлогумусовый

Характерной особенностью морфологического строения литозёмов является маломощный профиль, высокая каменистость, отсутствие срединного горизонта В. По содержанию скелета литозёмы относятся к сильнохрящеватым, по содержанию камней – к сильнокаменистым (табл. 2). Мелкозёмистая часть почвы составляет 18–26 %. Относительно высокое количество частиц < 1 мм встречается только в 0–10(28) см слое почвы. В составе мелкозёма преобладают средне- и мелкопесчаные фракции (57 %). Гранулометрический состав супесчаный (табл. 3). Содержание гумуса низкое (1,98 %), значения рН близкие к нейтральным (6,6). Сумма обменных катионов изменяется от 8,8 до 12,1 мг-экв/100 г почвы (табл. 4). В составе обменных катионов 71–82 % приходится на обменный кальций. Максимальные значения соотношения обменных Ca/Mg отмечены в почвообразующем субстрате. В светлогумусовом горизонте кальция содержится 71 %, а магния – 24 % от суммы обменных катионов. Соотношение Ca/Mg составляет 3. Эти соотношения обменных катионов типичны для степного типа почвообразования. Почвы не засолены, сумма токсичных солей составляет 0,014–0,027 %.

Таблица 2

Скелетность литозёма светлогумусового
из почвенных разрезов Нижнеоронгойской котловины

| № разреза | Горизонт, глубина, см | Содержание фракций (мм), % | | | | | | |
|-----------|-----------------------|----------------------------|------|-----|-----|-----|-----|----|
| | | >10 | 10–7 | 7–5 | 5–3 | 3–2 | 2–1 | <1 |
| 10-21 | АЖ 0-10(28) | 30 | 4 | 10 | 16 | 6 | 8 | 26 |
| | АЖС 10(28)–36 | 35 | 5 | 10 | 18 | 6 | 9 | 17 |
| | Сса 36–54 | 28 | 4 | 11 | 18 | 8 | 11 | 20 |

Таблица 3

Физико-химические свойства степных почв Нижнеоронгойской котловины

| Горизонт | Глубина, см | рН _{водн} | Токсичные соли | CO ₂ | Гумус | ЕКО, ммоль/экв. | Содержание фракций, % | | |
|--|-------------|--------------------|----------------|-----------------|-------|-----------------|-----------------------|------------|--------|
| | | | % | | | | 1–0,05 | 0,05–0,001 | <0,001 |
| Литозём светлогумусовый (разрез 10-21) | | | | | | | | | |
| АЖ | 0–10(28) | 6,6 | 0,014 | – | 1,98 | 10,1 | 57 | 37 | 6 |
| АЖСса | 10(28)–36 | 7,1 | 0,027 | 1,9 | 1,31 | 12,1 | 56 | 35 | 9 |
| Сса | 36–54 | 7,5 | 0,023 | 2,5 | 0,72 | 8,8 | 65 | 24 | 10 |

Окончание табл. 3

| Горизонт | Глубина, см | рН _{водн} | Токсичные соли | СО ₂ | Гумус | ЕКО, ммоль/экв. | Содержание фракций, % | | |
|--|-----------------------|--------------------|----------------|-----------------|-------|--------------------|--------------------------|----------------|--------|
| | | | % | | | | 1– 0,05 | 0,05– 0,001 | <0,001 |
| Светлогумусовая (разрез 1-21) | | | | | | | | | |
| AJ | 0–28(54) | 7,4 | 0,015 | 0,4 | 3,02 | 14,4 | 44 | 44 | 13 |
| AJC | 28(54– 50(90)) | 7,6 | 0,024 | – | 0,52 | 6,6 | 77 | 17 | 4 |
| C | 50(90)–90 | 7,8 | 0,037 | – | 0,26 | 5,3 | 84 | 11 | 4 |
| Светлогумусовая солончаковатая (разрез 2-21) | | | | | | | | | |
| AJ | 0–16(31) | 6,2 | 0,029 | – | 2,21 | 13,9 | 64 | 26 | 11 |
| | 16(31)– 41(44) | 6,2 | 0,030 | – | 1,24 | 15,5 | 40 | 25 | 14 |
| AJC (пятно) | 41(44)–70 | 7,4 | 0,031 | – | 1,17 | 20,5 | 40 | 39 | 21 |
| AJC | 41(44)– 60(70) | 7,5 | 0,038 | – | 1,13 | 23,2 | 36 | 40 | 25 |
| Cca,s | 60(70)–85 | 7,1 | 0,074 | 1,1 | 0,58 | 16,3 | 50 | 29 | 21 |
| | 85–90 | 7,8 | 0,051 | 0,7 | 0,31 | 10,3 | 74 | 14 | 13 |
| Светлогумусовая аккумулятивно-карбонатная солонцеватая (разрез 1-18) | | | | | | | | | |
| AJ | 0–8 | 6,9 | 0,029 | – | 4,10 | 15,6 | 30 | 55 | 14 |
| | 8–20 | 7,1 | 0,26 | – | 4,19 | 20,8 | 23 | 63 | 25 |
| | 20–29(37,5) | 7,1 | 0,032 | – | 4,18 | 21,9 | 11 | 52 | 28 |
| BCA | 29(37,5)– 55(73,5) | 8,2 | 0,057 | 3,66 | 2,05 | 16,8 | 8 | 66 | 25 |
| Cca,sn | 55(73,5)–87 | 8,7 | 0,097 | 2,82 | 0,44 | 17,3 | 1 | 69 | 30 |

Таблица 4

Состав обменных катионов степных почв Нижнеоронгойской котловины

| Глубина, см | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Σ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca/M g |
|--|--------------------|------------------|-----------------|----------------|------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------|
| | мг-экв/100 г почвы | | | | | % | | | | |
| Литозём светлогумусовый (разрез 10-21) | | | | | | | | | | |
| 0–10(28) | 7,2 | 2,4 | 0,3 | 0,2 | 10,1 | 71 | 24 | 3 | 2 | 3,0 |
| 10(28)–36 | 9,6 | 2,0 | 0,4 | 0,1 | 12,1 | 79 | 17 | 3 | 1 | 4,8 |
| 36–54 | 7,2 | 1,2 | 0,4 | 0,1 | 8,8 | 82 | 14 | 4 | 1 | 6,0 |
| Светлогумусовая (разрез 1-21) | | | | | | | | | | |
| 0–28(54) | 9,2 | 4,4 | 0,4 | 0,4 | 14,4 | 64 | 31 | 3 | 3 | 2,1 |
| 28(54–50(90)) | 4,0 | 2,0 | 0,4 | 0,2 | 6,6 | 61 | 30 | 6 | 3 | 2,0 |
| 50(90)–90 | 2,8 | 2,0 | 0,4 | 0,1 | 5,3 | 52 | 37 | 8 | 2 | 1,4 |
| Светлогумусовая солончаковатая (разрез 2-21) | | | | | | | | | | |
| 0–16(31) | 8,0 | 5,2 | 0,4 | 0,2 | 13,9 | 58 | 38 | 3 | 2 | 1,5 |
| 16(31)–41(44) | 9,6 | 5,2 | 0,5 | 0,2 | 15,5 | 62 | 34 | 3 | 1 | 1,8 |
| 41(44)–70 (пятно) | 12,4 | 7,2 | 0,8 | 0,1 | 20,5 | 60 | 35 | 4 | 1 | 1,7 |
| 41(44)–70 | 14,4 | 7,6 | 1,1 | 0,2 | 23,2 | 62 | 33 | 5 | 1 | 1,9 |
| 60(70)–85 | 8,4 | 6,4 | 1,3 | 0,1 | 16,3 | 52 | 39 | 8 | 1 | 1,3 |
| 85–90 | 5,2 | 4,0 | 1,0 | 0,1 | 10,3 | 50 | 39 | 10 | 1 | 1,3 |
| Светлогумусовая аккумулятивно-карбонатная солонцеватая (разрез 1-18) | | | | | | | | | | |
| 0–8 | 7,6 | 6,8 | 0,3 | 0,9 | 15,6 | 49 | 44 | 2 | 6 | 1,1 |
| 8–20 | 10,8 | 9,2 | 0,3 | 0,5 | 20,8 | 52 | 44 | 2 | 2 | 1,2 |
| 20–29(37,5) | 10,8 | 10,4 | 0,3 | 0,4 | 21,9 | 49 | 47 | 2 | 2 | 1,0 |
| 29(37,5)–55(73,5) | 5,6 | 10,4 | 0,5 | 0,3 | 16,8 | 33 | 62 | 3 | 2 | 0,5 |
| 55(73,5)–87 | 4,0 | 12,0 | 0,9 | 0,3 | 17,3 | 23 | 69 | 5 | 2 | 0,3 |

Преобладающим типом растительности подгорных шлейфов южных отрогов Хамар-Дабана являются луговые степи. В этом типе рельефа были заложены ряд почвенных разрезов и серия прикопок. Ниже приводим описание некоторых из них.

Разрез 1-21 (заложен 16.07.2021)

АJ 0–28(54) см. Верхний 5 см слой коричневатого цвета (5YR.2,5/1), увлажнённый после дождя ($W = 14–17\%$), слегка уплотнённый, комковатый, легкосуглинистый с единичными включениями дресвы, обильно пронизан мелкими корнями в 0–5 см слое, ниже много корней различных размеров, не вскипает от HCl. Температура составляет 24,8 °C. Переход ясный, выражен по цвету, гранулометрическому составу, граница языковатая. По всему горизонту прослеживаются трещины или ходы корней. Следы органического материала в нижней части профиля на глубине 89 см.

АJС 28(54)–50(90) см. Коричнево-жёлтый (2,5Y–5/6), свежий ($W = 2,8\%$), плотный, бесструктурный, песчаный, с примесью дресвы, много корней, не вскипает от HCl. Температура 19,3 °C. Переход заметный, граница языковатая.

С 50(90)–90 см. Неоднородно окрашенный светло-серый (2,5Y–7/3) с языками от трещин или корней, свежий ($W = 3,5\%$), плотный, бесструктурный, песчаный, встречается дресва, щебень, не вскипает от HCl.

Тип почвы – светлогумусовая

Для изученной светлогумусовой почвы характерна хорошая аэрируемость. Значения Eh изменяются в почвенной толще от 280 до 307 мВ. Значительно ниже значения этого показателя в уплотнённом 0–10 см слое (180 мВ).

Характерной особенностью является отсутствие педогенной организации средней части профиля. Отчётливо диагностируется в верхней части профиля только светлогумусовый горизонт. Гранулометрический состав по профилю неоднороден. В корнеобитаемом слое – среднесуглинистый, глубже отмечается резкое облегчение до супесчаного (в гор. АJС) и песчаного (в гор. С). Поверхностный светлогумусовый горизонт имеет 3,02 % гумуса, близкую к нейтральной реакцию среды (7,4). Из-за высокой плотности корней значения Eh минимальные в профиле и составляют 180 мВ. В этом слое отмечаются относительно высокие показатели ёмкости катионного обмена (14,4 мг-экв/100 г почвы). В составе катионов преобладают обменный кальций (64 % от суммы) и магний (31 % от суммы). Глубже по профилю отмечается изменение ряда показателей: резкое уменьшение содержания гумуса и обменных катионов, увеличение значений рН (до 7,8) и уменьшение доли кальция и увеличение магния в составе обменных катионов. Соотношение Ca/Mg составляет всего 1,4. Почвы не засолены. Сумма токсичных солей в светлогумусовом горизонте 0,015 %, с глубиной увеличивается до 0,037 %. Это связано с возрастанием содержания ионов хлора, магния и натрия в горизонте С. Изменение водно-солевого баланса отражается и на показателе $ЕС_{1:5}$. В горизонте АJ значения $ЕС$ составляют 51, а в С – 118,0 μS , что также относит эти почвы к незасоленным. По составу обменных катионов не отмечается увеличения катионов в горизонте С, а водорастворимые формы позволяют проследить тенденцию увеличения катионов натрия и магния.

Как отмечалось нами ранее, особенностью Нижнеоронгойской котловины является неоднородность геоморфологического строения, проявляющаяся в виде многочисленных повышений внутри её аккумулятивной части. Вероятнее всего, они являются результатом неотектонических процессов. Нами изучены почвы этих степных участков на примере двух почвенных разрезов.

Разрез 2-21 (заложен 16.07.2021)

AJ 0–16(31) см. Сероватый (5УР 2,5/1), слабо увлажнённый ($W = 17\%$), слегка уплотнённый, комковатый, супесчаный, обильно пронизан корнями, встречаются камни диаметром до 5 см, не вскипает от HCl. Переход заметный по цвету, обилию корней, граница карманная.

AJ₂ 16(31)–41(44) см. Серовато-коричневый (10УР 3/3), слабо увлажнённый ($W = 12\%$), слегка уплотнённый, непрочно-комковатый, супесчаный, много корней, встречаются камни диаметром до 3 см, не вскипает от HCl. Переход ясный по цвету, плотности, гранулометрическому составу, граница относительно ровная.

AJC 41(44)–60(70) см. Неоднородно окрашенный горизонт (2,5У 4/4), плотный, свежий ($W = 11\%$), мелкокомковатый, легкоуглинистый, встречаются единичные корни травянистой растительности, небольшие камни, не вскипает от HCl. В этом горизонте морфологически выражено плотное комковатое легкоуглинистое пятно (10УР 4/6). Возможно, это зона с более выраженными окислительными условиями. Не вскипает от HCl. Переход заметный по цвету, включениям, граница относительно ровная.

C_{ca,s} 60(70)–90 см. Неоднородно окрашенный с белёсыми и ржавыми пятнами (2,5У 8/3, 2,5У 4/3), очень плотный, свежий, супесчаный, вскипает слабо, белёдые пятна – бурно. С глубины 60 см встречаются камни диаметром до 40 см. С 85–90 см отмечается изменение цвета горизонта до желтовато-коричневого (2,5У 5/6), становится уплотнённым, свежим, бесструктурным, песчаным, встречаются камни, вскипает от HCl.

Тип почвы – светлогумусовая солончаковатая

Система генетических горизонтов светлогумусовых солончаковатых почв представлена следующей формулой почвенного профиля: AJ–AJC–C_{ca,s}. Характерной особенностью является светлогумусовая аккумуляция поверхностных горизонтов и слабое засоление нижних (содово-хлоридное по анионам, натриевое и магниевое-натриевое по катионам). В срединной части горизонта отсутствует педогенная организация профиля. Вся почвенная толща хорошо аэрируемая. Значения Eh находятся в диапазоне 290–370 мВ. Гранулометрический состав неоднороден. Светлогумусовые горизонты легкоуглинистые, в средней части профиля с 40 до 85 см отмечается утяжеление гранулометрического состава до средне- и тяжелосуглинистого. В составе фракций в этой толще отмечается примерно равное соотношение песчаных и пылеватых частиц, высокое содержание илистых. Горизонт C имеет супесчаный состав с резким преобладанием песчаных частиц. Почвы малогумусные. В светлогумусовом горизонте содержание гумуса низкое (2,21%), с глубиной отмечается его постепенное убывание. Значения pH в пределах почвенного профиля изменяются от слабокислых в горизонте AJ (6,2) до ще-

лочных в горизонте $S_{ca,s}$ (7,8). Почвообразующая порода окарбоната и слабозасолена (рис. 3). Химизм по анионам – содово-хлоридный, по катионам – в слое 60(70)–85 см – натриевый, а на глубине 85–90 см – магниевонатриевый. В слое 60(70)–85 см отмечается увеличение плотного остатка. Такое накопление легкорастворимых солей, возможно, связано с утяжелением гранулометрического состава этого слоя. Изменение водно-солевого баланса отражается и на показателе $EC_{1:5}$. В горизонте А1 значения ЕС составляют 34, а в горизонте С – 240–365 μS , что указывает на слабую засоленность нижней части почвенного профиля. Обращает на себя внимание изменение по профилю ёмкости катионного обмена. В верхнем (0–41(44)) и нижнем (85–90 см) горизонтах эти показатели минимальные – 10–16 мг-экв/100 г почвы, в средней части профиля отмечается увеличение до 20–24 мг-экв/100 г почвы. Увеличение поглотительной способности в средней части профиля связано с утяжелением гранулометрического состава. Общей особенностью изученной почвы является невысокое соотношение обменных Ca/Mg (1,3–1,9). Отношение водорастворимых форм Ca/Mg в 0–40(44) см составляет 5,6, в породе – 2,6.

Разрез ОП-1-18 (заложен 07.06.2018)

А1 0–20 см. Горизонт неоднородно окрашенный: на основном фоне тёмно-серого с бурым оттенком цвета (7,5YR 3/2) выделяются полосы более светлого серого цвета (7,5YR 4/3). Сложение плотное, до 10 см горизонт густо пронизан корнями травянистой растительности, слабоувлажнённый. По всему горизонту фиксируются слабовыраженные вертикальные трещины с более тёмной окраской, засыпанные гумусированным материалом. По этим трещинам корни травянистой растительности уходят достаточно глубоко. С поверхности и до глубины 15 см выражены по трещинам блоки, которые легко дробятся на хорошо выраженные агрегаты ореховато-мелкокомковатой структуры. С глубины 20–29(37,5) см фиксируются более чёткие призматические формы структуры с довольно ясной делимостью. Вертикальная блочность вызвана трещинами. У каждого блока поверхность тёмная, на срезе светлеет. Не вскипает от HCl. Переход ясный по цвету, слабо выражен по плотности.

ВСА 29(37,5)–55(73,5) см. Неоднородно окрашен: на общем фоне желтовато-серого цвета (7,5YR 7/2) выделяются продолговатые затеки жёлтого цвета (10YR 6/4). В этом горизонте встречаются единичные корни, а также обломки горных пород, представленные плоскими сланцами. Гранулометрический состав суглинистый, сложение плотное, по трещинам более рыхлое. Бурно вскипает от HCl. Переход выражен по степени каменистости, структуре, граница карманная.

$S_{ca,sn}$ 55(73,5)–87 см. Почвообразующая порода карбонатная, имеет желтовато-серый цвет (2,5YR 5/2), в слабовыраженных трещинах фиксируются тёмно-серовато-белёвые затёки гумуса. По ходу трещин встречаются единичные корни. Плитчатая структура, более 50 % – обломки пород диаметром 3–7 см. Бурно вскипает от HCl.

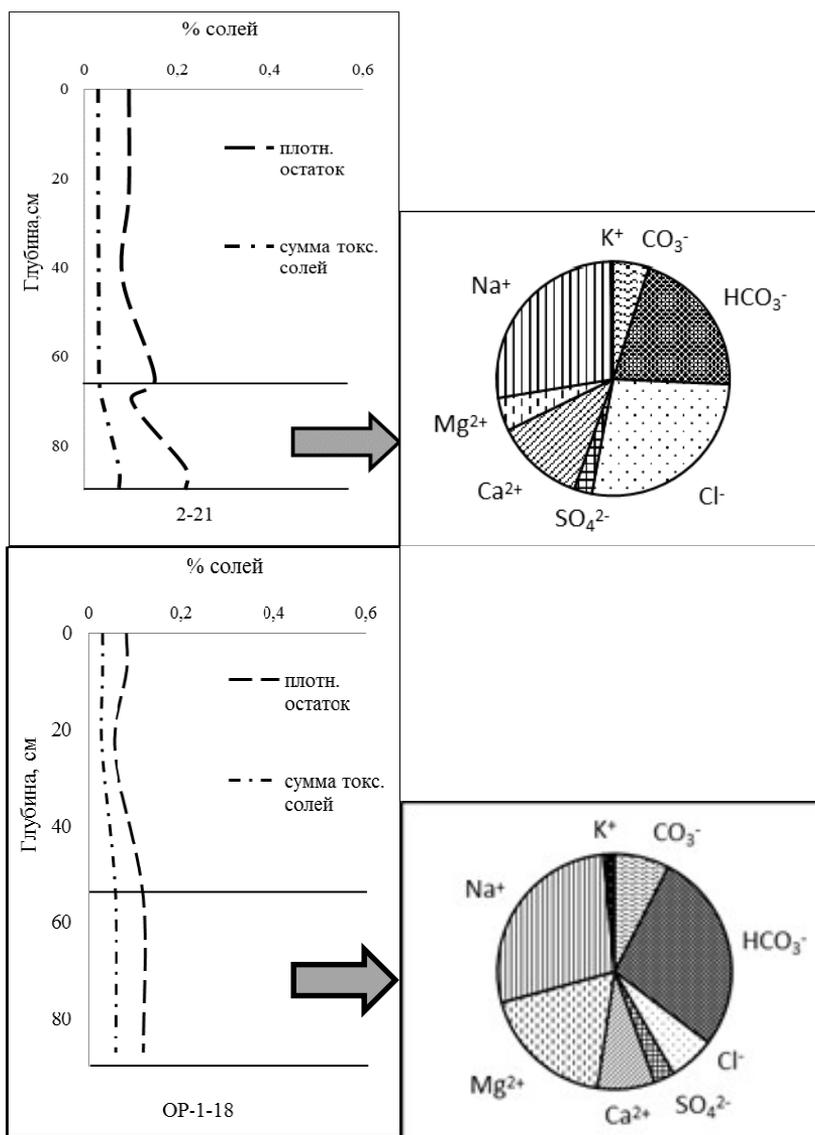


Рис. 3. Солевой состав светлогумусовой солончаковатой (разрез 2-21) и светлогумусовой аккумулятивно-карбонатной солонцеватой почв (разрез OP-1-18)

Почва светлогумусовая аккумулятивно-карбонатная солонцеватая

В разрезе OP-1-18 отмечается морфологически чётко выраженный горизонт максимального скопления карбонатов (BCA) и горизонт светлогумусовой аккумуляции (AJ). Эти горизонты отличаются по содержанию гумуса, CO_2 , pH, сумме обменных катионов. Это самые гумусированные и тяжёлые по гранулометрическому составу почвы среди изученных. Весь почвенный профиль характеризуется тяжелосуглинистым, а нижние горизонты – глинистым составом. Отмечается преобладание пылеватых частиц. Необычно высоко для почв Бурятии и содержание илстых фракций (25–30 %) (см. табл. 3).

Общей особенностью изученной почвы является примерно равное содержание обменного кальция и магния в слое 0–29(37,5) см и значительное преобладание магния глубже. Соотношение обменных форм Ca/Mg составляет 0,5–0,3. Обменного натрия только 2–5 % от суммы обменных катионов. По водорастворимым формам несколько иная ситуация: кальция и магния содержится незначительное количество, зато отмечается резкое преобладание катионов натрия. Соотношение водорастворимых форм Ca/Mg изменяется от 0,4 до 8. Такой широкий диапазон варьирования показывает, на наш взгляд, важную роль магния в генезисе изученных почв. В нижней части профиля проявляется слабое засоление (см. рис. 3). Химизм по анионам содово-хлоридный и хлоридно-содовый, по катионам – натриевый и магниевонатриевый. Значения ёмкости катионного обмена незначительно изменяются по почвенному профилю.

Заключение

Исследования в Нижнеоронгойской котловине выявили преобладание здесь степных почв с укороченным слаборазвитым профилем. Основными почвообразовательными процессами являются светлогумусовая аккумуляция органического вещества и аккумуляция карбонатов. Слабое засоление в нижней части профиля проявляется в степных почвах, формирующихся на повышениях во внутренней части впадины.

Согласно принципам, изложенным в Классификации почв России, диагностированы 3 типа почв в Нижнеоронгойской котловине.

На малоизменённом каменистом субстрате с преобладанием растений петрофитно-разнотравных сообществ формируются литозёмы светлогумусовые (10-21) с типичной для степных почв светлогумусовой аккумуляцией и преобладанием обменного кальция в составе обменных катионов.

На рыхлых легкосуглинистых почвообразующих субстратах формируются более развитые почвы, относящиеся к типу светлогумусовых почв (органо-аккумулятивный отдел).

Особенностью степных почв, формирующихся на возвышенных участках котловины, является слабая засоленность нижних горизонтов (разрез 1-18 с 30 см, разрез 2-21 с 60 см). Тип химизма по катионам натриевый и магниевонатриевый, а по анионам – содово-хлоридный и хлоридный.

В изученных степных почвах выявлены различия по обменным катионам. Количественные параметры этого показателя зависят от гранулометрического состава: низкие значения отмечены на супесчаных и легкосуглинистых почвообразующих породах, средние – на суглинистых породах. Диагностическое значение имеет различное соотношение Ca/Mg. В литозёмах это соотношение близко к классическим, характерным для степного типа почвообразования. В светлогумусовых и светлогумусово-аккумулятивных почвах в составе обменных катионов отмечается достаточно высокое содержание обменного магния. В солончакватых разновидностях его доля составляет 40–69 %. Соответственно отмечается и низкое соотношение Ca/Mg.

Список литературы

- Агрохимические методы исследования почв. М. : Наука, 1975. 656 с.
- Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М. : Изд-во Моск.ун-та, 1970. 488 с.
- Аюшина Т. А., Убугунова В. И., Хутакова С. В. Почвы приозерных понижений степной зоны Бурятии (на примере Оронгойской котловины) // Оптимизация агрохимических свойств почв и продукционных процессов в горно-степных экосистемах : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Улан-Удэ, 2010. С. 16–20.
- Базовые шкалы свойств морфологических элементов почв. Методическое руководство по описанию почв в поле / Э. А. Корнблом, И. С. Михайлов, Н. А. Ногина, В. О. Таргульян М. : Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 1982. 56 с.
- Добровольский Г. В., Никитин Е. Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. М. : Изд-во Моск. ун-та, 2012. 413 с.
- Елаев Э. Н., Пыжикова Е. М., Тубденова И. П. Природные и историко-культурные достопримечательности Оронгойской котловины как основа для создания школьно-учебно-познавательной экологической тропы // Вестник БГУ: Биология. География. 2016. № 4. С. 39–46.
- Елаев Э. Н., Рудых С. Г., Шугаева Б. Б. Учебно-познавательная экологическая тропа Оронгойской средней школы (Республика Бурятия). 1. Зоологическая часть // Вестник БГУ. Биология. География. 2017. № 3. С. 108–113.
- Елаев Э. Н., Шугаева Б. Б. Птицы экотонных территорий как объекты школьной экологической тропы Оронгойской СОШ (Республика Бурятия) // Тезисы докладов I Всероссийского орнитологического конгресса. Тверь, 2018. С. 107–108.
- Классификация и диагностика почв России. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
- Козловский Ф. И., Горячкин С. В. Информационная структура почвенного покрова: поверхности раздела и внутренняя масса // Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий. М. : Изд-во ЛКИ, 2008. С. 58–74.
- Комплексная экологическая оценка ландшафтного урочища и минерального источника Ута-Булак (Иволгинский район. Республика Бурятия) // Вестник Бурятского государственного университета. 2015. № 4. С. 80–95.
- Организация биоты степных и галофитных комплексов Оронгойской котловины (Забайкалье) / Э. Н. Елаев, Е. М. Пыжикова, С. Г. Рудых, М. Г. Цыренова, Э. Б. Буянтуев // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2018. Т. 26. С. 86–93. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.26.86>
- Полевой определитель почв России. М. : Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. 182 с.
- Предбайкалье и Забайкалье (Природные условия и естественные ресурсы СССР). М. : Наука, 1965. 491 с.
- Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв. М. : ВАСХНИЛ, 1990. 236 с.
- Таргульян В. О., Соколов И. А. Структурный и функциональный подход к почве: почва-память и почва-момент // Математическое моделирование в экологии. М. : Наука, 1978. С. 17–33.
- Хутакова С. В., Аюшина Т. А., Убугунова В. И. Почвы приозерного межгорного понижения Иволгинско-Оронгойской котловины // Вестник БГСХА им. В.П. Филиппова. № 3 (36). 2014. С. 53–59.
- Хутакова С. В., Убугунова В. И. Разнообразие почв приозерного межгорного понижения Иволгинско-Оронгойской котловины // Вестник АГАУ. № 12(122). 2014. С. 49–55.
- Экологическая паспортизация памятников природы Республики Бурятия (Иволгинский и Селенгинский районы) / К. Ш. Шагжиев, Э. Н. Елаев, В. А. Бабинов, В. Н. Черных, А. Ю. Гармаев. Улан-Удэ : Изд-во Бурят. гос. ун-та, 2015. 164 с.
- Экологический атлас бассейна озера Байкал. Иркутск : Изд-во Ин-та географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2015. 145 с.
- Экосистемы бассейна Селенги // Биологические ресурсы и природные условия Монголии : тр. совмест. Рос.-монг. комплекс. биол. экспедиции. Т. 44. М. : Наука, 2005. С. 359.

Ayushina T. A., Ubugunov L. L. Spatial differentiation of saline soils in lakeside depressions of the steppe zone // 13th International Conference on Salt Lake Research (ICSLR, 2017). Book of abstracts. Ulan-Ude, 2017. P. 6.

Jenny H. Factors of Soil Formation a System of Quantitative pedology. N. Y. : Dover Publications, Inc., 1994. 281 p.

Sparks D. L. Environmental Soil Chemistry. Amsterdam; Boston : Academic Press, 2003. 352 p.

References

Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv [Agrochemical methods of soil research]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 656 p. (in Russian)

Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Soil Chemical Analysis Guide]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1970. 488 p. (in Russian)

Ayushina T.A., Ubugunova V.I., Khutakova S.V. Pochvy priozernykh ponizhenii stepnoi zony Buryatii (na primere Orongoiskoi kotloviny) [Soils of lakeside depressions in the steppe zone of Buryatia (on the example of the Orongoy depression)]. *Optimizatsiya agrokhimicheskikh svoystv pochv i produktsionnykh protsessov v gorno-stepnykh ekosistemakh. Materialy Vseros. nauchno-praktich. konf.* [Optimization of Agrochemical Properties of Soils and Production Processes in Mountain-Steppe Ecosystems: All-Russ. Sci. Conf., Ulan-Ude, Russia]. Ulan-Ude, 2010, pp. 16-20. (in Russian)

Kornblyum E.A., Mikhailov I.S., Nogina N.A., Targul'yan V.O. *Bazovye shkaly svoystv morfologicheskikh elementov pochv. Metodicheskoe rukovodstvo po opisaniyu pochv v pole* [Basic scales of properties of morphological elements of soils. Field guide]. Moscow, Dokuchaev Soil Inst. Publ., 1982, 56 p. (in Russian)

Dobrovolskii G.V., Nikitin E.D. *Ekologiya pochv. Uchenie ob ekologicheskikh funktsiyakh pochv* [Soil ecology. The doctrine of the ecological functions of soils]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 2012, 413 p. (in Russian)

Elaev E.N., Pyzhikova E.M., Tubdenova I.P. Prirodnye i istoriko-kul'turnye dostoprimechatel'nosti Orongoiskoi kotloviny kak osnova dlya sozdaniya shkol'no-uchebno-poznavatel'noi ekologicheskoi tropy [Natural and historical-cultural sights of the Orongoi Basin as a basis for creating a school-educational ecological trail]. *Vestnik BGU: Biologiya. Geografiya* [BSU Bull. Biology. Geography], 2016, no. 4, pp. 39-46. (in Russian)

Elaev E. N., Rudykh S. G., Shugaeva B. B. Uchebno-poznavatel'naya ekologicheskaya tropa Orongoiskoi srednei shkoly (Respublika Buryatiya). 1. Zoologicheskaya chast' [Educational ecological trail of Orongoi secondary school (Republic of Buryatia). Part 1. Zoology] *Vestnik BGU: Biologiya. Geografiya* [BSU Bull. Biology. Geography], 2017, no. 3, pp. 108-113. (in Russian)

Elaev E.N., Shugaeva B.B. Ptitsy ekotonnykh territorii kak ob'ekty shkol'noi eko-logicheskoi tropy Orongoiskoi SOSh (Respublika Buryatiya) [Birds of ecotone areas as objects of the school ecological trail of Orongoi secondary school (Republic of Buryatia)]. *1 Vserossiiskii ornitologicheskii kongress* [1st All-Russ Ornithol. Congr., Tver, Russia]. Tver, 2018, pp. 107-108. (in Russian)

Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii [Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii]. Smolensk, Oikumena Publ., 2004. 342 p. (in Russian)

Kozlovskii F. I., Goryachkin S. V. Informatsionnaya struktura pochvennogo pokrova: pov-erkhnosti razdela i vnutrennyaya massa [Land cover information structure: interface surfaces and internal mass]. *Pamyat' pochv: Pochva kak pamyat' biosferno-geosferno-antroposfernykh vzaimodeistvii* [Soil memory: Soil as a memory of biosphere-geosphere-anthroposphere interactions]. Moscow, LKI publ., 2008, pp. 58-74. (in Russian)

Kompleksnaya ekologicheskaya otsenka landshaftnogo urochishcha i mineralnogo istochnika Uta-Bulak (Ivolginskii raion. Respublika Buryatiya) [Integrated ecological assessment of landscape tract and mineral spring Uta-Bulak (Ivolginsky district. Republic of Buryatia)]. *Vestnik BGU* [BSU Bull.]. 2015, no. 4, pp. 80-95. (in Russian)

Yelayev E.N., Pyzikova E.M., Rudykh S.G., Tsyrenova M.G., Buyantuyev E.B. Biota of Steppe and Halophytic Complexes of the Orongoy Depression (Buryatia, Transbaikalia). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2018, vol. 26, pp. 86-93. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.26.86> (in Russian)

Polevoi opredelitel pochv Rossii [Polevoi opredelitel pochv Rossii]. Moscow, Dokuchaev Soil Inst. Publ., 2008, 182 p. (in Russian)

Predbaikal'e i Zabaikal'e (Prirodnye usloviya i estestvennye resursy SSSR) [Prebaikalia and Transbaikalia (Natural Conditions and Natural Resources of the USSR). Moscow, Nauka Publ., 1965, pp. 457-478. (in Russian)

Rukovodstvo po laboratornym metodam issledovaniya ionno-solevogo sostava neutral'nykh i shchelochnykh mineral'nykh pochv [Manual on laboratory methods of research of ion-salt composition of neutral and alkaline mineral soils]. Moscow, VASKhNIL Publ., 1990, 236 p. (in Russian)

Targul'yan V.O., Sokolov I.A. Strukturnyi i funktsionalnyi podkhod k pochve: pochva-pamyat i pochva-moment [Structural and functional approach to soil: soil-memory and soil-moment]. *Matematicheskoe modelirovanie v ekologii* [Mathematical modeling in ecology]. Moscow, Nauka Publ., 1978, pp. 17-33. (in Russian)

Khutakova S.V., Ayushina T.A., Ubugunova V.I. Pochvy priozernogo mezhgornogo ponizheniya Ivolginsko-Orongoiskoi kotloviny [Pochvy priozernogo mezhgornogo ponizheniya Ivolginsko-Orongoiskoi kotloviny]. *Vestnik BGSKhA im. V.R. Filippova* [Bulletin of the BSSA named after V. R. Filippov], 2014, no. 3 (36), pp. 53-59. (in Russian)

Khutakova S.V., Ubugunova V.I. Raznoobrazie pochv priozernogo mezhgornogo ponizheniya Ivolginsko-Orongoiskoi kotloviny [Soil diversity in the lakeside intermountain downgrade of the Ivolginsk-Orongoi depression Basin]. *Bull. Altai St. Agric. Univ.*, 2014, no. 12 (122), pp. 49-55. (in Russian)

Shagzhiev K.Sh., Elaev E.N., Babikov V.A., Chernykh V.N., Garmaev A.Yu. *Ekologicheskaya pasportizatsiya pamyatnikov prirody Respubliki Buryatiya (Ivolginskii i Selenginskii raiony)* [Ecological passportization of natural monuments of the Republic of Buryatia (Ivolginsky and Selenginsky districts)]. Ulan-Ude, Buryat St. Univ. Publ., 2015, 164 p. (in Russian)

Ekologicheskii atlas basseina ozera Baikal [Ecological Atlas of the Baikal Basin]. Irkutsk, Sochava Inst. of Geography SB Ras Publ., 2015, 145 p. (in Russian)

Ekosistemy basseina Selengi [Ecosystems of the Selenga River Basin]. *Biologicheskie resursy i prirodnye usloviya Mongolii: trudy sovместной Rossiisko-Mongol'skoi kompleksnoi biologicheskoi ekspeditsii* [Biological resources and natural conditions of Mongolia: Proc. Joint Russian-Mongolian Complex Biological Expedition]. Moscow, Nauka Publ., 2005, p. 359. (in Russian)

Ayushina T.A., Ubugunov L.L. Spatial differentiation of saline soils in lakeside depressions of the steppe zone. *13th Int. Conf. on Salt Lake Research (ICSLR, 2017)*: Book of abstracts. Ulan-Ude, Buryat St. Univ. Publ., 2017, p. 6.

Jenny H. *Factors of Soil Formation a System of Quantitative pedology*. N. Y., Dover Publ., 1994, 281 p.

Sparks D.L. *Environmental Soil Chemistry*. Amsterdam, Boston, Academic Press, 2003, 352 p.

Информация об авторах

Убугунова Вера Ивановна
доктор биологических наук,
ведущий научный сотрудник
Институт общей и экспериментальной
биологии СО РАН
Россия, 670037, г. Улан-Удэ,
ул. Сахьяновой, 6
e-mail: ubugunova57@mail.ru

Аюшина Туяна Аюшиевна
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
Институт общей и экспериментальной
биологии СО РАН
Россия, 670037, г. Улан-Удэ,
ул. Сахьяновой, 6
e-mail: tuyana2602@mail.ru

Information about the authors

Ubugunova Vera Ivanovna
Doctor of Sciences (Biology),
Leading Research Scientist
Institute of General and Experimental
biology SB RAS
6, Sakhyanova st., Ulan-Ude, 670037,
Russian Federation
e-mail: ubugunova57@mail.ru

Ayushina Tuyana Ayushievna
Candidate of Sciences (Biology),
Senior Research Scientist
Institute of General and Experimental
Biology SB RAS
6, Sakhyanova st., Ulan-Ude, 670037,
Russian Federation
e-mail: tuyana2602@mail.ru

Насатуева Цымпилма Номтоевна

инженер

*Институт общей и экспериментальной
биологии СО РАН*

Россия, 670037, г. Улан-Удэ,

ул. Сахьяновой, 6

e-mail: tsympilmann@mail.ru

Nasatueva Tsypilma Nomtoevna

Engineer

*Institute of General and Experimental
Biology SB RAS*

6, Sakhyanova st., Ulan-Ude, 670037,

Russian Federation

e-mail: tsympilmann@mail.ru

Статья поступила в редакцию **16.10.2023**; одобрена после рецензирования **25.03.2024**; принята к публикации **05.04.2024**
Submitted **October, 16, 2023**; approved after reviewing **March, 25, 2024**; accepted for publication **April, 05, 2024**