

ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ
ПОЧВ

УДК 631.4(571.55)

ПОЧВЫ ПРИОЗЕРНЫХ ПОНИЖЕНИЙ ПУЛЬСИРУЮЩИХ ХЛОРИДНЫХ
ОЗЕР ОБЛАСТИ ВНУТРЕННЕГО СТОКА ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ© 2023 г. В. И. Убугунова^а, *, Л. Л. Убугунов^а, А. Д. Жамбалова^а, Т. А. Аюшина^а, В. Л. Убугунов^а^аИнститут общей и экспериментальной биологии СО РАН,

ул. Сахьяновой, 6, Улан-Удэ, 670037 Россия

*e-mail: ubuginova57@mail.ru

Поступила в редакцию 17.04.2023 г.

После доработки 17.07.2023 г.

Принята к публикации 18.07.2023 г.

Впервые получены данные по засоленным почвам бессточных приозерных понижений, формирующихся в районах экстроконтинентального климата с циклическим 25–30-летним изменением уровня озер в аридную и гумидную климатические фазы. Установлено, что в ландшафтах, прилегающих к высокоминерализованным хлоридным озерам юго-восточного Забайкалья, формируются различные почвы: на супераквальных – гумусово-глеевые засоленные почвы (Gleyic Solonchak (Loamic, Chloridic)); на супераквальных – гумусово-глеевые засоленные почвы (Calcaric Mollic Gleysol (Arenic, Endosalic, Sodic)); на элювиально-супераквальных – светлогумусовые засоленные (Fluvic Kastanozem (Epiarenic, Amphiloamic, Sodic)). Степень засоления изученных почв различная. Химизм засоления по катионам натриевый, по анионам в солончаках и верхнем горизонте гумусово-глеевой почвы – хлоридный, а в остальных почвах – содово-хлоридный и хлоридно-содовый. Солончаки глеевые имеют сильнощелочную реакцию среды, высокое содержание карбонатов, резкое доминирование в составе обменных катионов Na^+ . В солончаковом горизонте концентрируются многие химические элементы (Sr, S, Li, Mg, Ca), региональной особенностью является высокое содержание As. Гумусово-глеевая засоленная почва по физико-химическим показателям близка к светлогумусовой засоленной почве, а по гранулометрическому и элементному составам – к солончакам. Это связано с тем, что гумусово-глеевая почва в аридную фазу функционирует в полугидроморфном режиме, а в гумидную – в гидроморфном. Близкое залегание грунтовых вод способствует обогащению почв типоморфными для озерных вод элементами. Установлено, что в нижних горизонтах светлогумусовой засоленной почвы фиксируется палеогидроморфная стадия развития в виде высокого содержания легкорастворимых солей и карбонатов. Геохимическая особенность почвообразующих пород заключается в высоком содержании As, а также повышенной концентрации Li, Ba, Pb, низком соотношении Ca/Sr. Использование кластерного анализа показателей свойств изученных почв показало, что гумусово-глеевая почва отражает как динамические, так и устойчивые почвенные параметры и рекомендуется для мониторинговых наблюдений за динамикой бессточных приозерных экосистем Центральной Азии с циклическими климатическими фазами.

Ключевые слова: высокоминерализованные хлоридные озера, цикличность функционирования почв, приозерные почвы, засоление

DOI: 10.31857/S0032180X23600737, **EDN:** DPVZZC

ВВЕДЕНИЕ

В конце XX и начале XXI вв. объектами изучения специалистов разных направлений стали соленые и содовые озера внутриконтинентальных аридных и семиаридных территорий Мира, в том числе Восточно-Степной и Гобийской ландшафтных областей Монголии, равнинных районов Казахстана, Средней Азии, Китая [27, 37, 39, 40, 47, 49, 51, 55, 57–60]. Эти озера являются уникальными природными индикаторами естественных и антропогенных изменений [6], обуславливающих изменение механизмов направления и перемещения веществ [2, 46, 53].

Особый интерес представляет трансграничный бессточный Центрально-Азиатский бассейн (степная зона Восточно-Монгольской равнины: Монголия, Китай, Россия) с многочисленными бессточными озерами (около 5000). Несколько сотен их находятся в юго-восточном Забайкалье [37], территория которого представляет собой контактную зону южной границы мерзлоты и северной границы обширной аридной зоны. Во влажные климатические фазы большинство озер наполняется, а в периоды аридизации значительно понижается уровень озер, сокращается площадь, нередко они полностью пересыхают. Про-

должительность этих циклов составляет 25–30 лет [32, 51]. Эволюция озерных экосистем связана не только с климатическими изменениями, но и с новейшей геодинамикой [28]. Приозерные почвы этого региона слабо изучены. Имеются лишь единичные и фрагментарные данные по засоленным почвам прибрежной зоны содовых озер Хара-Нур [2], Большой Чиндент [29, 30, 42] и Торейских озер [44]. Учитывая, что засоление почв в условиях горно-котловинного рельефа юга Восточной Сибири сильно отличается по конкретным факторам соленакопления в ландшафте отдельно взятой котловины, практически невозможно экстраполировать имеющиеся разрозненные данные на обширную территорию области внутреннего стока Центральной Азии [45].

По приозерным почвам высокоминерализованных хлоридных озер нестабильного уровневого режима каких-либо данных не обнаружено. Эти почвы можно отнести к почвам экстремальных условий формирования [10]. Наряду с почвами морских побережий и дельт рек, приозерные почвы периодически затапливаются, в результате происходит изменение водного режима, смена окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условий, засоления, гумусообразования, геохимической специализации ландшафтов [20, 52, 56]. В регрессивную фазу в почвах бассейнов приморских крупных соленых озер (Каспий, Арал и др.) преобладают процессы засоления, слабого гумусонакопления, эолового выноса солей и тонких фракций силикатного материала, а в трансгрессивную — сульфидогенеза, глеегенеза, оксидогенеза, накопления органического вещества [9, 20].

Изучение почв приозерных ландшафтов внутриконтинентального Центрально-Азиатского бассейна, как ключевого компонента экосистем, представляется весьма актуальным как в теоретическом, так и в практическом отношении. Отсутствие данных не позволяет получить целостное представление о степных экосистемах с многочисленными бессточными озерными котловинами этого региона, формирующимися в условиях экстраконтинентального климата с выраженными мерзлотными процессами. Это осложняет решение широкого круга задач природопользования степной зоны, в том числе мониторинга заповедных и рекреационных зон. Поэтому целью настоящего исследования было представление сведений о морфологии, физико-химических свойствах и геохимических особенностях почв, формирующихся на супераквально-субаквальных, супераквальных, элювиально-супераквальных позициях приозерных понижений хлоридных озер.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Исследовали приозерные почвы хлоридного озера Бабье, которое расположено в Онон-Аргунской провинции Центральной Азии [41] (рис. 1). Главными морфоструктурами этой территории являются аккумулятивные и денудационные равнины и островные низкогорные массивы [8, 11]. Основные черты морфологии формировались при определяющем процессе педипланации [31] и связаны преимущественно с новейшими опусканиями [11, 28].

Территория исследования расположена в зоне сочленения Центрально-Азиатского подвижного пояса и Сибирской плиты [11]. По морфоструктурному районированию она относится к области внутригорного Агинского бассейна [8]. Определяющую роль для тектонического строения бассейна оз. Бабье имеют ответвления Агинского разлома, разграничивающие разнородные и разновозрастные Среднеононский, Ононский, Уртуйский, Борзинский формации [34]. Породы включают осадочные и вулканогенно-осадочные образования борзинской свиты пермского возраста (алевролиты, туфоалевриты, хлидолиты, известняки), тургинской раннемеловой свиты (трахибазальты, трахиандезиты, андезибазальты, риолиты), позднерифейской уртуйской, раннекарбоновой верхнеуртуйской свит, а также четвертичные отложения ноинской свиты (галечники, валуны, с линзами песков и глин) и продукты выветривания гранитных пород островных гор [11].

К основным чертам климата исследуемой территории относятся: резкая континентальность, отрицательные среднегодовые температуры, недостаточная увлажненность (среднегодовое количество осадков равно 150–400 мм) и неравномерный характер их выпадения по сезонам. Во время действия тихоокеанского циклона в июльско-августовский период происходит концентрированная разгрузка атмосферных осадков ливневого характера, обуславливающих интенсивный склоновый смыв материала в многочисленные бессточные бассейны малых рек [2, 24]. Характерной чертой климата исследуемой территории является цикличность — чередование влажных и сухих периодов длительностью около 30 лет [13, 21, 32, 33]. В аридную фазу происходит уменьшение запасов влаги в почвах до уровня влажности завядания и ниже; повсеместное усыхание и гибель древостоев; ксерофитизация и снижение в 1.5–2 раза продуктивности лугово-степных и степных фитоценозов, снижение уровня воды в озерах вплоть до полного их исчезновения [14]. С циклами выпадения атмосферных осадков связан уровень водности озер региона [21, 32, 33, 49, 51]. В аридную фазу отмечается увеличение площади солончаков за счет днищ сухих озер [14].

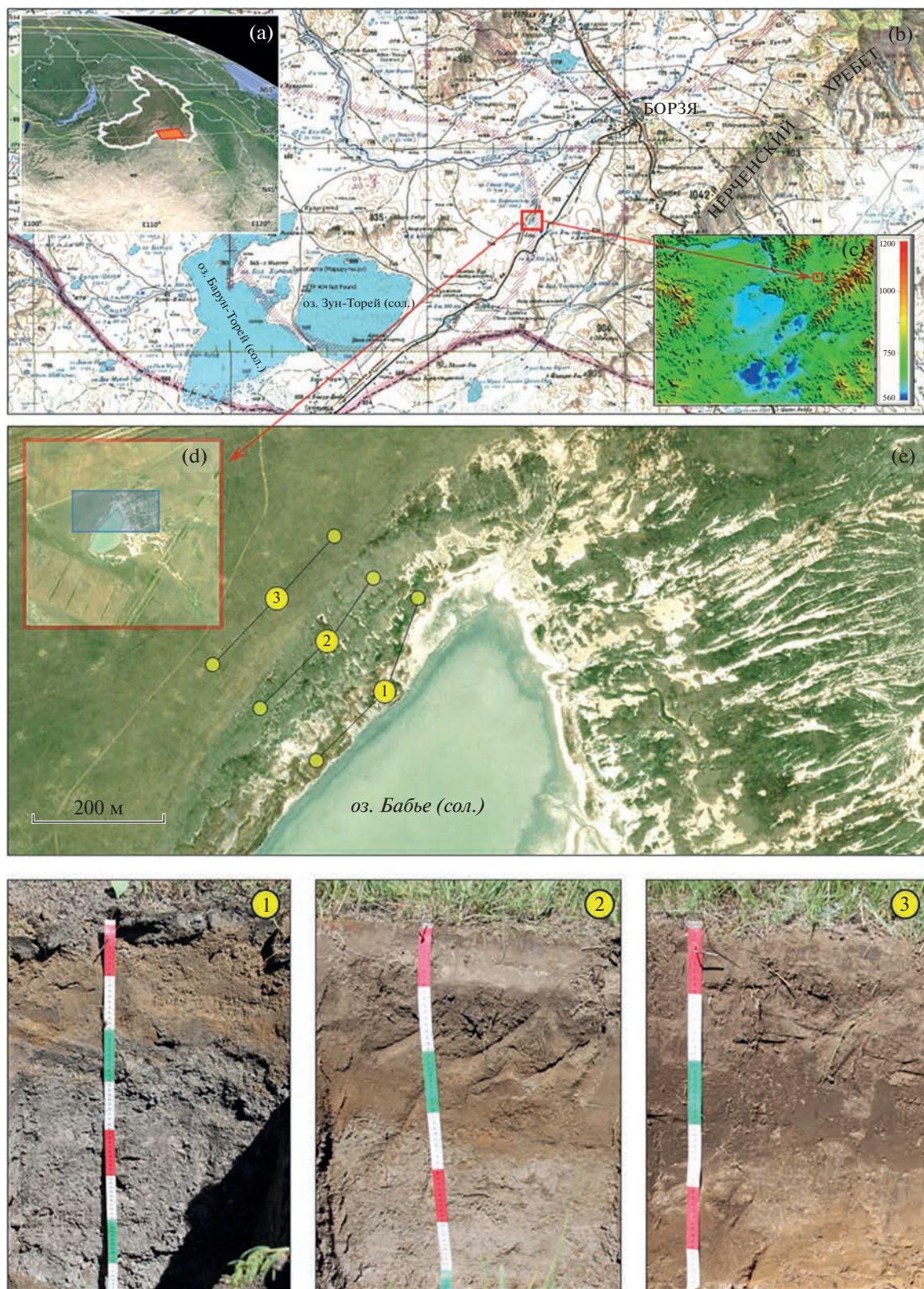


Рис. 1. Географическое (а), административное (б) положение, орография (с) района исследований; космоснимки при-озерных ландшафтов оз. Бабье (д, е); места закладки ключевых площадок (е) и профили опорных почвенных разрезов: а – граница Забайкальского края; район исследований (границы врезки б); б, с – положение оз. Бабье (граница врезки д); д – граница врезки е; е – разрезы Б-1, Б-2, Б-3; уточняющие полуямы.

Основной чертой пространственной структуры растительности района исследования является гетерогенность сообществ. В центре соленакопления произрастают галофитные сообщества, далее в зависимости от увлажнения и засоленности развиваются, как правило, бескильничевые луга, ползучеосоковые, полынные сообщества, сазовые степи. Это типичная концентрическая полосность (пояса) вокруг озер. В засушливую фазу отмечается возрастание площади галофитных лугов и пионерной галофитной растительности с доминированием однолетних маревых [15, 43]. Заселение местообитаний видами иной биогеохимической специализации по сравнению с прежними видами-доминантами является показателем глубокой трансформации геосистем [13].

Почвенные исследования проводили на супераквально-субаквальных, супераквальных и элювиально-супераквальных позициях приозерного ландшафта. Было заложено 3 ключевых опорных разреза и 9 вспомогательных. Ниже приводим морфологическое описание ключевых разрезов (рис. 1е).

Разрез Б-1 (50.29955° N, 116.38027° E) заложено в приозерном понижении, в 50 м от береговой линии оз. Бабье под шведово-соссурейным сообществом. Проективное покрытие 20%. Растительный покров мозаичный, чередуются растительные ассоциации и оголенные участки.

Sg,ca, 0–5 см. Слоистый, иловатый легкоглинистый наилок, с чередованием сизого и прогумусированного слоев, влажный, рыхлый, встречаются корни, бурно вскипает от HCl. Переход выражен по цвету, плотности, гранулометрическому составу.

Cg,ox,s,ca, 5–20(22) см. Ржаво-охристый фон с сизоватыми прослойками, влажный, супесчаный, бесструктурный, уплотненный, встречаются корни травянистой растительности, бурно вскипает от HCl. Переход выражен по цвету и гранулометрическому составу.

CGs, 20(22)–80 см. Белесовато-сизый, заиленный суглинок, чередующийся с иловатыми более темными тяжелосуглинистыми слоями, сырой, с 80 см выступает грунтовая вода.

Почва: солончак глеевый (Gleyic Solonchak (Loamic, Chloridic)).

Разрез Б-2 (50.30025° N, 116.37903° E) заложено в приозерном понижении, в 153 м от береговой линии оз. Бабье под бескильничево-полынно-ячменевым сообществом. Проективное покрытие 40%. Растительный покров мозаичный, чередуются растительные ассоциации и оголенные участки. На поверхности почвы встречается мелкая галька.

AJca,s, 0–15(18) см. Темно-серый с черным оттенком, увлажненный, супесчаный, непрочнокомковатый, уплотненный, обильно пронизан-

ный корнями травянистой растительности, вскипает от HCl. Переход выражен по цвету, граница слабоволнистая.

ACsa,s, 15(18)–34(39) см. Желтовато-коричневый, влажный, супесчаный, бесструктурный, уплотненный, встречаются единичные корни травянистой растительности, вскипает от HCl. Переход резкий, выражен по цвету, гранулометрическому составу.

CGca,s, 34(39)–65 см. Однородно окрашенный слой оглеенного песка, сырой, вскипает от HCl.

Почва: гумусово-глеевая засоленная (Calcaric Mollic Gleysol (Arenic, Endosalic, Sodic)).

Разрез Б-3 (50.30074° N, 116.37787° E) заложено в 400 м от береговой линии оз. Бабье под ковыльной степью. Проективное покрытие 60%.

AJca, 0–33(39) см. Темно-каштановый, свежий, супесчаный, уплотненный, непрочнокомковатый, обильно пронизан корнями травянистой растительности, очень слабо вскипает от HCl. Переход выражен по цвету, плотности, карбонатным новообразованиям, граница слабоволнистая.

ACsa,dc,s, 33(39)–44(47) см. Светло-серый с белесыми пятнами карбонатов, по всей мощности горизонта видны гумусовые затеки, легкосуглинистый, свежий, плотный, в горизонте много корней травянистой растительности, вскипает от HCl. Переход заметный по цвету, плотности, влажности. Граница перехода слабоволнистая.

Csa,s, 44(47)–60 см. Светло-коричневый с желтоватым оттенком, суглинистый, рыхлый, вскипает от HCl.

Почва: светлогумусовая засоленная (Fluvic Kastanozem (Epiarenic, Amphiloamic, Sodic)).

При изучении почв использовали морфологические, физико-химические, геохимические методы исследования [7, 36]. Почвы классифицировали по диагностическим критериям по [23, 35, 50]. Для всех объектов фиксировали географические координаты с помощью приемника GPS. Активности ионов Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , pH определяли в почвенных пастах с влажностью 30 мас. % с помощью ионоселективных электродов ЭЛИС на регистрирующем иономере Экотест-120 в 2–3-кратной повторности. В почвенных образцах определяли содержание органического углерода $\text{C}_{\text{орг}}$ методом мокрого сжигания по Тюрину [7], обменные катионы методом Пфедфера в модификации Молодцова и Игнатовой [36], оценка химизма, степени засоления, расчет гипотетических солей проводили по [3], гранулометрический состав методом Качинского. Дополнительно использовали расчетные параметры:

– $D_{\text{ср}}$ – средний размер зерна, рассчитан как средневзвешенное значение [12].

– F – динамический фактор, представляющий собой отношение количества физического песка к количеству физической глины. Параметр характеризует условия осадконакопления: при $F > 1$ преобладает принос обломочного материала из ближних и средних источников посредством волочения и сальтации (~до десятка км), что, скорее всего, имеет место в высокодинамичной среде при сильных порывистых ветрах; при $F < 1$ поступление материала сокращается и поступает в виде воздушных аэрозолей, в основном, из дальних источников, преобладают постседиментационные преобразования осадков *in situ*, основными из которых являются почвообразовательные [18];

– K – показатель дисперсности, отражающий характер глинистых компонентов, связанных с трансформацией, переносом и локализацией тонкодисперсного вещества в различных отложениях. Он рассчитывается по формуле $K = (\ln \Phi_5 - \ln \Phi_1) / 1.609$, где Φ_5 – содержание частиц (%) диаметром < 5 мкм; Φ_1 – содержание частиц (%) диаметром < 1 мкм [4].

Для подробного анализа геохимического состояния выбраны 26 элементов, наиболее типичных для засоленных почв. Количественное определение валовых содержаний элементов выполнялось в аккредитованной испытательной лаборатории “Республиканского аналитического центра” атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой (ICP), спектрометром Spectroarcons. Для разложения почвенных образцов использовали смесь фтористоводородной (HF), хлорной (HClO₄) и азотной (HNO₃) кислот (ГОСТ ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98). Для выявления особенностей распределения элементов в засоленных почвах рассчитаны коэффициенты концентрации и коэффициенты рассеяния по отношению к литосфере по [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Озера аридных территорий юго-восточного Забайкалья характеризуются высокой динамичностью [6]. Минерализация воды (M) в озере Бабьем в зависимости от гумидной или аридной фаз была от 1.5 до 85 г/л [5] (рис. 2). Существенно изменялось соотношение анионов, поэтому химизм вод по этому показателю в гумидную фазу был хлоридно-содовым (2009), а в аридную – хлоридным (2013) или сульфатно-хлоридным (2022). В зависимости от химизма озерных вод, солёности, величины pH, температуры, органической продуктивности озера происходит осаждение тех или иных минералов [53]. При насыщении воды карбонатами образуются магнезиальные кальциты (Ca, Mg)CO₃ и Са-избыточные доломиты CaMg[CO₃]₂ [40]. Гипсовая стадия минералообразования в водах отсутствует. Кроме карбонатных минералов, в донных осадках встречаются магнетит, лепидокрокит, гетит, каолинит, монтмориллонит [5, 6, 49], тер-

ригенная составляющая представлена альбитом, ортоклазом, микроклином, кварцем и кальцитом [5].

Первый модельный полигон расположен на наиболее динамичном участке приозерного понижения. В засушливый период при обмелении и усыхании озера на прибрежной части формируются солончаки, во влажный климатический цикл при наполнении озера происходит их затопление. По [9] и нашему мнению, это циклическая супераквальная–субаквальная позиция.

Морфологическое строение солончаков характеризуется резкой морфологической дифференциацией профиля. Близкий уровень грунтовых вод (80 см) оказывает большое влияние на окислительно-восстановительный режим почв. Формирование тяжелосуглинистого солончакового горизонта, вероятнее всего, происходит под воздействием соленых вод озера, выходящих на поверхность при периодическом влиянии озерных заплесков. По системе генетических горизонтов (Sg,ca–Cg,ox,s,ca–CGca,s) этот тип почвы относится к солончакам глеевым (Gleyic Solonchak (Loamic, Chloridic, Calcaric)) [23, 35, 50].

По гранулометрическому составу седиментационная толща солончаков глеевых состоит из тяжелосуглинистого (0–5 см), супесчаного (5–20(22) см) и среднесуглинистого (30–80 см) горизонтов. По средневзвешенной составляющей (D_{cp}) преобладают частицы мелкого и среднего песка и илистой фракции (рис. 3). Анализ динамического фактора (F), характеризующего условия осадконакопления, показывает различные этапы седиментогенеза во вскрытой толще. Верхний 0–5 и 30–80 см слои соответствуют озерным условиям осадконакопления ($F \leq 1$) с тонко-коллоидальным глинистым компонентом (K), а супесчаная толща ($F \geq 3$) с более крупными частицами (D , K) отражает возрастание роли эоловых процессов при аридизации климата и сокращении площадей озера [4, 12, 18].

Для солончака характерны щелочные и сильнощелочные значения pH (табл. 1). В горизонте Sg,ca содержится достаточно высокое количество $C_{орг}$. Так как на данном участке высшая растительность представлена только монодоминантными сообществами галофитов с низким проективным покрытием, то доминирующим источником органического вещества, вероятно, являются цианобактериальные маты [1].

Содержание CO₂ карбонатов в почвах высокое (2.3–9.4%). Максимальное количество его отмечается в горизонте Sg,ca и озерных отложениях и связано соответственно с испарительной концентрацией и гидрогенной аккумуляцией. Максимальные значения емкости катионного обмена (ЕКО) (27.5 смоль(экв)/кг почвы) характерны для солончакового горизонта, с глубиной поглощательная способность заметно снижается. В соста-

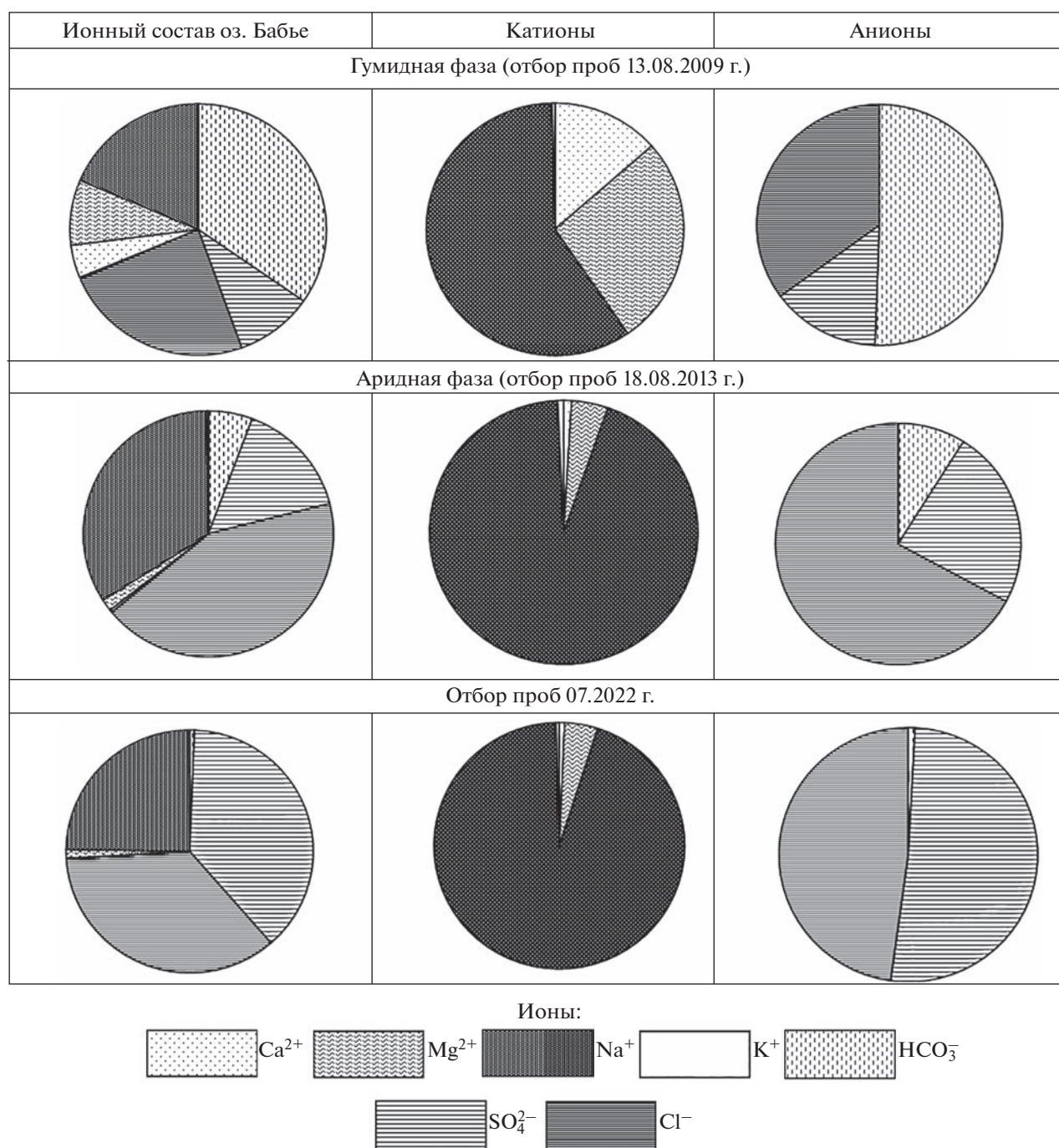


Рис. 2. Химический состав вод оз. Бабье в гумидную и аридную фазы; состав анионов и катионов, % от суммы: данные за 2009, 2013 гг., по [6], за 2022 г., авторов статьи.

ве обменных катионов по всему профилю преобладают обменный натрий и магний.

В солончаках очень сильно засолены горизонты Sg,ca и Cg,ox,s,ca и сильно засолена глеевая толща (CGs,ca) (табл. 2).

Источниками солей являются минерализованные воды, а механизм засоления связан с температурным градиентом криоаридного климата и

влиянием мерзлотного фактора [22, 26, 45]. Характер распределения солей по профилю аккумулятивный, химизм засоления хлоридно-натриевый. В составе анионов существенно доминирует Cl^- . Максимальная его концентрация отмечается в солончаковом горизонте, глубже количество Cl^- снижается, но остается достаточно высоким (6.02–8.64 смоль(экв)/кг). Содержание CO_3^{2-} и

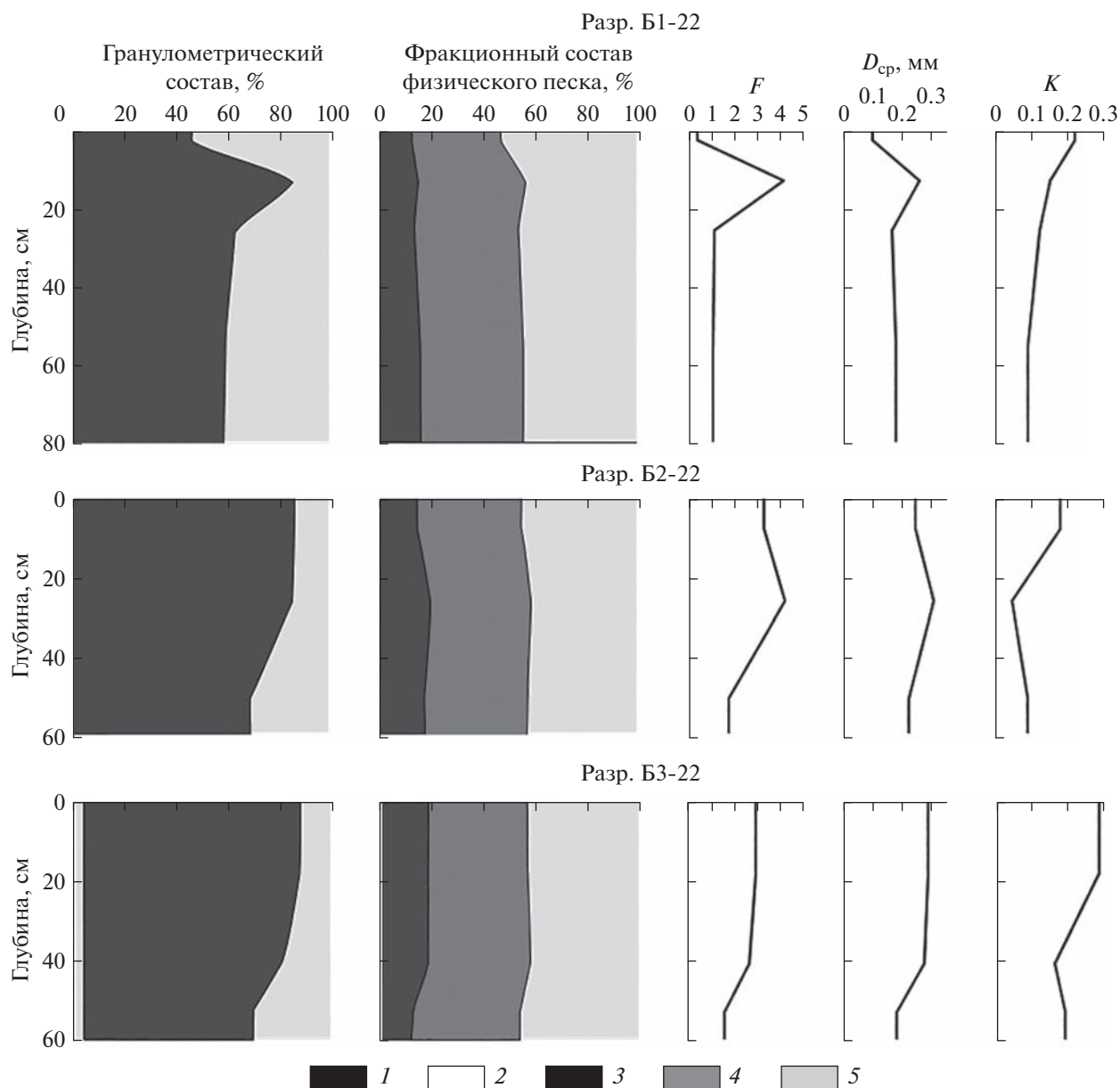


Рис. 3. Профильное распределение гранулометрического состава, фракций среднего (СП), мелкого (МП) песка и крупной пыли (КП), динамический фактор (F), средний размер зерна (D_{cp}) и показатель дисперсности отложений (K) в разрезах Б-1, Б-2 и Б-3: 1 – физический песок, 2 – физическая глина, 3 – средний песок, 4 – мелкий песок, 5 – крупная пыль.

HCO_3^- общ в солончаке глеевом низкое, профильное распределение равномерное. Количество сульфат-ионов изменяется от 1.25 до 4.13 смоль(экв)/кг почвы, максимальные значения встречаются в горизонте Sg,ca. В составе анионов доля SO_4^{2-} варьирует от 9 до 21%. Тип химизма в солончаках по катионам натриевый. Содержание Na^+ преобладает в составе катионов (91–94% от суммы катионов).

Расчет гипотетических солей показал [3], что в солончаках новообразования представлены в основном галитом (NaCl). Его содержание в гори-

зонте Sg,ca равно 75.9 смоль(экв)/кг, что составляет 2.2 при плотном остатке 2.7.

Второй модельный полигон расположен на супераквальных позициях приозерного понижения. Предшествующая череда сухих лет, мелководья и усыхания озер способствовали снижению уровня грунтовых вод, которые на момент исследования в профиле почв отсутствовали, поэтому окислительно-восстановительные условия были достаточно стабильные. Тип профиля представлен следующей системой генетических горизон-

Таблица 1. Физико-химические свойства приозерных почв оз. Бабье

Горизонт, глубина, см	pH	CO ₂ карб	C _{орг}	Обменные основания, смоль(экв)/кг почвы	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
		%			% от суммы			
Разрез Б-1. Солончак глеевый								
Sg,ca, 0—5	8.4	8.3	2.81	27.5	7	25	68	0
Cg,ox,ca,s, 5—20(22)	8.8	2.3	0.28	13.3	18	30	46	6
CGs,ca, 20(22)—30	8.5	7.8	0.37	17.3	16	25	57	1
2CGs,ca, 30—80	8.2	9.4	0.26	12.8	22	31	44	3
Разрез Б-2. Гумусово-глеевая засоленная почва								
AJca,s, 0—15(18)	8.6	1.9	0.71	9.8	33	53	11	3
ACca,s,15(18)—34(39)	9.7	1.6	0.17	11.1	22	22	53	3
CGca,s, 34(39)—65	9.6	6.0	0.24	12.4	19	26	53	2
Разрез Б-3. Светлогумусовая засоленная почва								
AJca, 0—33(39)	7.5	0.5	0.74	8.6	51	37	8	4
ACca,dc,s, 33(39)—44(47)	9.4	0.6	0.53	19.1	19	21	59	1
Cca,s, 44(47)—60	9.2	1.3	0.39	20.7	17	15	66	1

тов: AJca,s–ACca,s–CGca,s и по [23, 35, 50] соответствует гумусово-глеевой засоленной почве (Calcaric Mollic Gleysol (Arenic, Endosalic, Sodic)).

Изученные почвы имеют неоднородный гранулометрический состав: выделяются супесчаная (0–34(39) см) и среднесуглинистая (34(39)–65 см) толщи. По динамическому коэффициенту верхние слои диагностируют эоловые ($F > 3$), а нижние – озерные ($F < 1$) условия седиментации. Отмечаются и различия по дисперсности глинистой компоненты (K): коллоидно-илистой в светлогумусовом горизонте и тонкой коллоидной в озерных отложениях (рис. 3).

Гумусово-глеевая засоленная почва характеризуется сильнощелочными значениями pH, максимальные значения этого показателя встречаются в нижних горизонтах почвы (9.7–9.6). Содержание карбонатов варьирует от 1.6 (ACca,s) до 6.0% (CGca,s). Почвы малогумусные, поэтому сложно диагностировать верхний горизонт как темnogумусовый. На данном этапе исследований ввели обозначение AJ. Изученные почвы имеют низкую поглотительную способность. Среди обменных катионов в верхней части профиля более 50% приходится на Mg²⁺ и 33% на Ca²⁺. В горизонтах ACca,s и CGca,s наблюдается резкое увеличение доли натрия – до 53% от суммы катионов.

Изученная почва (разрез Б-2) является засоленной: в слое 0–15(18) см – слабо, а глубже отмечается увеличение содержания легкорастворимых солей до средней степени засоления. Распределение легкорастворимых солей по профилю соответствует элювиально-иллювиальному типу. Химизм засоления по анионам в горизонте AJca,s

содово-хлоридный, в горизонтах ACca,s и CGca,s – хлоридно-содовый; по катионам однотипный – натриевый. Содержание Cl[–] в изученной почве ниже в 10 раз по сравнению с солончаками. В составе анионов его доля от суммы анионов изменяется от 60% в гор. AJca,s, до 19 и 2% соответственно в гор. ACca,s и CGca,s. Максимальное содержание HCO₃[–] отмечается в нижней части профиля. В составе катионов во всех горизонтах преобладает Na⁺ (68–81% от суммы катионов). В горизонтах AJca,s и ACca,s заметно возрастает содержание Ca²⁺ и Mg²⁺. Увеличение этих катионов отразилось и на составе гипотетических солей. В их составе возрастает роль карбонатных образований (56% от суммы солей, преимущественно за счет Na₂CO₃ и NaHCO₃) и резко снижается хлоридных (до 10%) и сульфатных (4–6%).

Третий модельный полигон заложен на пологом склоне элювиально-супераквального (приозерно-зонального) участка палеогидроморфной позиции озерной депрессии. Морфологическое строение почв (Б-3) имеет следующую формулу: AJca–ACca,dc,s–Cca,s и диагностирует тип светлогумусовой засоленной почвы (Fluvic Kastanozem (Epiarenic, Amphiloamic, Sodic)) [23, 35, 50].

Горизонт AJca имеет слабощелочную реакцию среды (pH 7.5), ниже по профилю отмечается резкое возрастание этого показателя до сильнощелочных значений (9.2–9.4). Содержание карбонатов низкое. Почвы малогумусные, характер распределения органического вещества постепенно убывающий. Емкость катионного обмена изменяется от 8.6 до 20.7 смоль(экв)/кг. Минимальные значения этого показателя отмечаются в

Таблица 2. Водная вытяжка почв приозерного понижения оз. Бабье

Показатель	Тип почвы, глубина, см									
	солончак глеевый				гумусово-глеевая			светлогумусовая		
	0–5	5–20	20–30	30–80	0–15	15–34	34–65	0–33	33–44	44–60
Легкорастворимые соли, %	2.680	0.761	0.604	0.471	0.103	0.315	0.226	0.059	0.281	0.435
Токсичные соли, %	2.624	0.725	0.567	0.439	0.078	0.267	0.202	0.039	0.232	0.387
Состав анионов, смоль(экв)/кг										
CO_3^{2-}	0.32	0.36	0.36	0.16	0.16	1.36	0.64	0.01	1.20	1.60
HCO_3^-	1.00	0.76	0.72	0.60	0.24	1.52	41.76	0.24	1.52	1.76
$\Sigma_{\text{общ}}$	1.16	0.94	0.90	0.68	0.68	0.72	0.84	0.24	2.12	2.56
SO_4^{2-}	4.13	2.63	1.46	1.25	0.06	0.25	0.25	0.05	0.59	1.22
$\text{SO}_{4\text{токс}}^{2-}$	4.13	2.63	1.46	1.25	0.06	0.25	0.25	0.04	0.59	1.22
Cl^3	39.72	8.64	7.90	6.02	0.68	0.72	0.84	0.64	0.92	1.44
Состав катионов, смоль(экв)/кг										
Ca^{2+}	0.70	0.45	0.45	0.40	0.30	0.60	0.30	0.25	0.60	0.60
Mg^{2+}	2.10	0.30	0.20	0.25	0.15	0.50	0.35	0.10	0.15	0.20
Na^+	35.48	11.3	8.26	6.41	1.08	3.07	3.19	0.57	3.26	6.74
K^+	0.23	0.03	0.02	0.02	0.05	0.10	0.09	0.01	0.05	0.02
% от суммы анионов										
CO_3^{2-}	1	3	3	2	14	35	1	1	28	26
HCO_3^-	2	6	7	7	21	39	96	26	36	29
SO_4^{2-}	9	21	14	16	5	7	1	5	14	20
Cl^-	88	70	76	75	60	19	2	68	22	25
% от суммы катионов										
Ca^{2+}	2	4	5	6	20	14	8	27	15	8
Mg^{2+}	6	2	2	4	9	12	9	11	4	3
Na^+	91	94	92	90	68	72	81	61	80	89
K^+	1	0.2	0.2	0.2	3	2	2	1	1	0.3

верхнем светлогумусовом горизонте, соотношение обменных катионов в нем типичное для зональных почв. С глубиной (АСса,s, Сса,s) значения емкости поглощения увеличивается в 2 раза преимущественно за счет возрастания доли обменного натрия в составе катионов — до 59–66%.

Почвы имеют различную степень засоления. Верхний гумусовый горизонт не засолен, тогда как в горизонтах АСса,s и Сса,s содержание солей увеличивается соответственно в 5 и 7 раз по сравнению с АJca и соответствует средней (АСса,s) и сильной (Сса,s) степеням засоления. Распреде-

ние легкорастворимых солей по профилю имеет грунтово-аккумулятивный тип. Профильное распределение CO_3^{2-} и $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ неравномерное: в светлогумусовом горизонте их содержание минимальное, в озерных отложениях — максимальное. Такая высокая концентрация гидрокарбонатных ионов обуславливает содовый химизм засоления. Содержание хлоридов невысокое (0.64–1.44 смоль(экв)/кг), с глубиной в засоленных горизонтах его содержание увеличивается (табл. 3). Содержание сульфат-ионов в светлогумусовой засоленной почве низкое, с глубиной от-

Таблица 3. Содержание элементов в приозерных почвах оз. Бабье

Элемент	Тип почвы, глубина, см									
	солончак глеевый				гумусово-глеевая			светлогумусовая		
	0–5	5–20	20–30	30–80	0–15	15–34	34–65	0–33	33–44	44–60
%										
Al	5.06	5.67	5.47	5.31	5.47	5.47	5.48	5.78	6.01	6.17
Fe	1.97	1.32	1.39	1.27	2.25	1.36	1.44	1.92	2.07	2.34
Ca	5.06	1.98	2.02	6.97	7.16	1.52	3.00	0.71	0.77	1.36
Mg	3.55	0.71	0.83	1.67	0.97	0.82	2.12	0.27	0.46	0.68
K	1.83	2.61	2.48	2.36	2.12	2.53	2.33	2.44	2.43	2.38
Na	1.99	2.17	1.81	1.73	1.55	1.81	1.66	1.69	1.78	1.96
Ti	0.22	0.16	0.19	0.15	0.20	0.14	0.16	0.22	0.21	0.24
мг/кг										
Li	55.2	29.5	27.8	34.6	27.7	31.9	39.1	24.6	27.1	28.7
Cu	19.2	10.6	9.8	12.3	16.3	9.4	13.6	11.1	12.5	13.3
Sr	1465	520	454	873	662	438	866	287	270	280
Ba	454	608	604	545	580	586	542	581	573	569
Be	1.8	2.2	2.1	1.8	1.8	2.2	2.1	2.3	2.4	2.4
Zn	52.8	19.6	23.1	25.8	37.1	20.0	26.4	26.5	33.1	38.7
Sc	7.4	4.5	4.9	5.0	6.7	4.6	5.5	5.8	6.5	7.4
V	13.5	7.8	9.9	9.3	13.3	7.7	9.3	11.2	11.8	13.3
La	17.7	13.2	17.8	15.7	19.2	15.5	15.0	19.6	21.0	22.2
Ce	40.6	26.2	30.9	29.3	38.8	27.8	30.9	27.7	40.8	41.4
Pb	24.8	22.6	23.8	17.9	22.5	18.0	17.1	24.7	20.7	23.9
P	588	190	268	284	587	173	160	289	224	208
V	54.8	24.5	26.5	23.0	42.5	28.6	28.8	41.5	46.8	51.9
As	22.3	13.2	10.5	9.6	9.5	14.5	14.4	13.6	16.3	17.1
S	2250	584	319	807	904	212	212	278	437	890
Cr	34.5	19.7	20.5	21.1	24.3	19.6	21.2	26.6	30.7	35.6
Mn	477.3	234.3	321.3	320.4	673.1	228.5	281.5	376.9	301.9	339.8
Co	9.6	5.2	5.9	4.9	8.5	5.5	6.4	7.8	7.7	9.0
Ni	21.9	9.5	10.0	9.4	15.6	8.7	13.5	12.8	17.7	22.2

мечается постепенное увеличение этого показателя. Среди катионов доминирует натрий. Обращает внимание различное долевого участие его в катионном составе. В незасоленном горизонте она составляет 61% от суммы катионов, в засоленных — 80–89%. Химизм засоления изученных почв по анионам содово-хлоридный и хлоридно-содовый; по катионам — натриевый. В составе гипотетических солей светлогумусовой засоленной почвы в горизонте А₁с_a образуется нетоксичный карбонат кальция и галит. Самые высокие значения солей встречаются в горизонте АСс_a,s, доминируют NaHCO₃, Na₂CO₃·NaHCO₃·2H₂O, Na₂CO₃·10H₂O, также участвуют NaHCO₃, Ca(HCO₃)₂, Mg(HCO₃)₂. В горизонте Сс_a,s отмечена аккумуляция галита NaCl и тенардита Na₂SO₄.

Для оценки геохимической специализации приозерных почв был изучен элементный состав генетических горизонтов, почвообразующих озерных и озерно-эоловых отложений. Установлена высокая вариабельность для S, P, щелочно-земельных элементов (Mg, Ca, Sr), элементов группы железа (Cr, Mn, Co, Ni) ($V > 50\%$). Также достаточно широкий разброс данных выражен для Li, Zn, Y, La, Pb, V ($V = 33–50\%$). Наименьший же диапазон варьирования встречается для As, Fe ($V = 20–33\%$) и Na, K, Ba, Be, Al ($V = 10–20\%$).

Процессы засоления способствуют концентрированию элементов, особенно в горизонте Sg, с_a солончаков глеевых, для которого характерно совмещение испарительного, окислительного и сорбционного барьеров. Геохими-

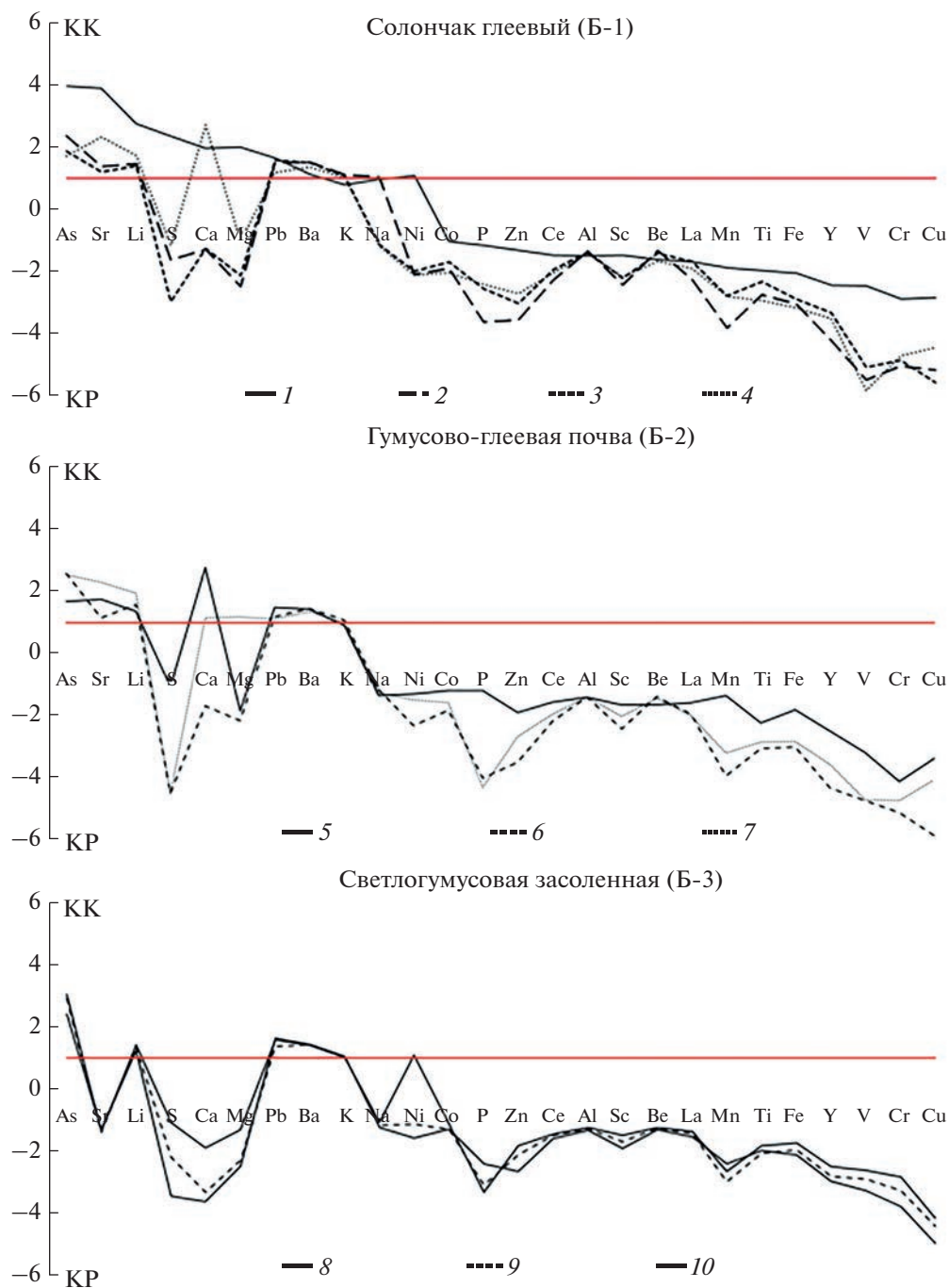


Рис. 4. Геохимические спектры химических элементов приозерных почв оз. Бабы по отношению к кларку литосферы: КК – кларки концентрации; КР – кларки рассеивания; горизонты: 1 – Sg,ca, 2 – Cg,ox,ca,s, 3 – CGs,ca, 4 – 2CGs,ca; 5 – AJca,s, 6 – ACsa,s, 7 – CGsa,s; 8 – AJca, 9 – ACsa,dc,s, 10 – Csa,s.

ческая специализация этого горизонта определяется накоплением следующих элементов: $As_{4.0}Sr_{3.9}Li_{2.8}S_{2.4}Mg_{2.0}Ca_{2.0}Pb_{1.7}$. В озерных осадках этой почвы аккумулируются $Ca_{2.7}Sr_{2.3}As_{1.7}Li_{1.7}Ba_{1.4}$ (рис. 4). Средняя контрастность радиальной дифференциации в солончаках характерна для S, As, Mg, Sr, Li. В светлогумусовой почве содержание

элементов выше кларковых значений отмечается только для $As_{2.4-3.1}Pb_{1.4-1.6}Ba_{1.1-1.5}Li_{1.2-1.4}$ и низкое содержание (КК < 0.2–0.3) для Ca, Mg (гор. AJca, ACsa,s), Cu, P, V, Cr (весь профиль).

Процессы окисления отражаются в поведении щелочноземельных элементов, в первую очередь Ca, Mg, Sr, в меньшей степени Ba. Со-

держание кальция во всех изученных почвах изменяется от 0.71 до 7.16% (в 10 раз). В светлогумусовой почве количество его минимальное (0.71–1.36%), в горизонте АJca гумусово-глеевой почвы (7.16%) и в Sg,ca солончаков (5.06%) – максимальное. Содержание и характер распределения Mg аналогичен Ca. Коэффициент окarbonачивания ($\text{CaO} + \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$), показывающий накопление кальцита и доломита [54], в светлогумусовой почве низкий (0.1–0.3). В верхнем горизонте (1.4) и озерных отложениях (1.2) солончака глеевого и гумусовом горизонте гумусово-глеевой почвы (1.1) это отношение увеличивается по сравнению с зональной почвой в 4–10 раз. Увеличение кальция в донных осадках связано с поступлением его в озера с подземным и поверхностным стоком, и минерализацией растворенных и накапливающихся в донных осадках веществ [1, 40, 49]. В юго-восточном Забайкалье, Северной Корее, во многих районах Китая отмечается развитие эндемичной болезни Кашина–Бека (уровская болезнь) [17]. Высказано свыше 20 гипотез ее происхождения, но среди них доминирует биогеохимическая Ca–Sr гипотеза Ковальского, согласно которой болезнь развивается при недостатке Ca и избытке Sr [25]. Повышенное содержание Sr в почвах, водах, растениях [16, 17, 25] и пониженное Ca является фактором экологического риска для жизни людей. В почвах эндемичных районов значение Ca/Sr составляет в среднем 36 ± 11 [16]. В солончаках и гумусово-глеевой почвах это отношение изменяется от 35 до 108 и соответствует фоновым (не загрязненным) почвам, а в светлогумусовой – отношение Ca/Sr варьирует от 25 до 29, характеризуется как неблагоприятное, соответствующее почвам эндемичных районов [16].

Геохимическими особенностями изученных почв является повышенное содержание As. КК изменяется от 1.7–4.0. Накопление мышьяка, вероятно связано с близким расположением района исследования (в 24 км) к Шерловогорской мышьяковой биогеохимической провинции с повышенными и ураганными значениями As (КК = 1183) [38, 48].

Для установления влияния озерных вод на почвы полученные материалы по разным показателям были обработаны методом кластерного анализа. По гранулометрическому составу слои почвы сгруппировались в четыре кластера (рис. 5). Пороговые расстояния, разграничивают супесчаные и легкосуглинистые слои (1.2 кластер); средне- и тяжелосуглинистые (3) и глинистые (4). В солончаке ранжировалось 3 кластера: глинистые, супесчаные и средне- и тяжелосуглинистые слои. Гумусово-глеевая и светлогумусовая почвы имеют однотипное чередование слоев: в верхней части – супесчаных, в нижней – среднесуглинистых.

Физико-химические свойства (рН, CO_2 карбонатов, содержание легкорастворимых, токсичных солей, водорастворимых анионов и катионов, обменные Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , активности $a\text{Na}^+$, $a\text{Cl}^-$, содержание $\text{C}_{\text{орг}}$) ранжировались на три кластера (рис. 5с). В первый объединились все горизонты светлогумусовой и гумусово-глеевой почвы. В солончаках горизонт Sg,ca занимает отдельный кластер. Глеевый горизонт и озерные отложения объединились в один кластер (рис. 5д).

По химическим элементам изученные почвы ранжировались на 4 кластера (рис. 5е). В светлогумусовой засоленной почве все горизонты объединились в один кластер. Наиболее контрастная дифференциация профиля отмечается для солончаков глеевых. В солончаковом, глеевом горизонтах и озерных отложениях отмечается различная геохимическая специализация. По элементному составу проявляется однотипность состава солончаков и гумусово-глеевых почв (рис. 5е, 5ф). Это показывает влияние озерных минерализованных вод на почвы, формирующиеся на супераквально-субаквальных (солончаки глеевые) и супераквальных позициях (гумусово-глеевая). Чередование затопления и регрессии береговой линии способствуют однотипности элементного состава.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что почвообразование в приозерных ландшафтах степной зоны юго-восточного Забайкалья протекает на фоне циклических изменений уровня озер. Морфологическое строение, а также данные вещественного состава показывают проявление современных процессов засоления и гидрогенного окarbonачивания.

Наряду с очень важной ролью гидрогеологического фактора, на формирование приозерных почв немаловажное значение оказывает эоловая составляющая. Выявлена высокая вариабельность в изученных почвах гранулометрического состава, рН, степени засоления, активности ионов, состава обменных катионов. В меньшей степени проявляются различия по химизму засоления.

Наибольшая концентрация элементов характерна для солончакового горизонта, в котором совмещается испарительный, окислительный, сорбционный барьеры. Его геохимическая специализация определяется накоплением As, Sr, Li, S, Mg, Ca, Pb. В озерных осадках аккумулируются As, Mg, Ca, Li, Sr, Ba. В светлогумусовой почве выше кларковых значений содержится As и Pb, КК в пределах 1.2–1.5 отмечается для Ba и Li, отмечается однотипное с эндемичными почвами районов проявления болезни Кашина–Бека соотношение Ca/Sr.

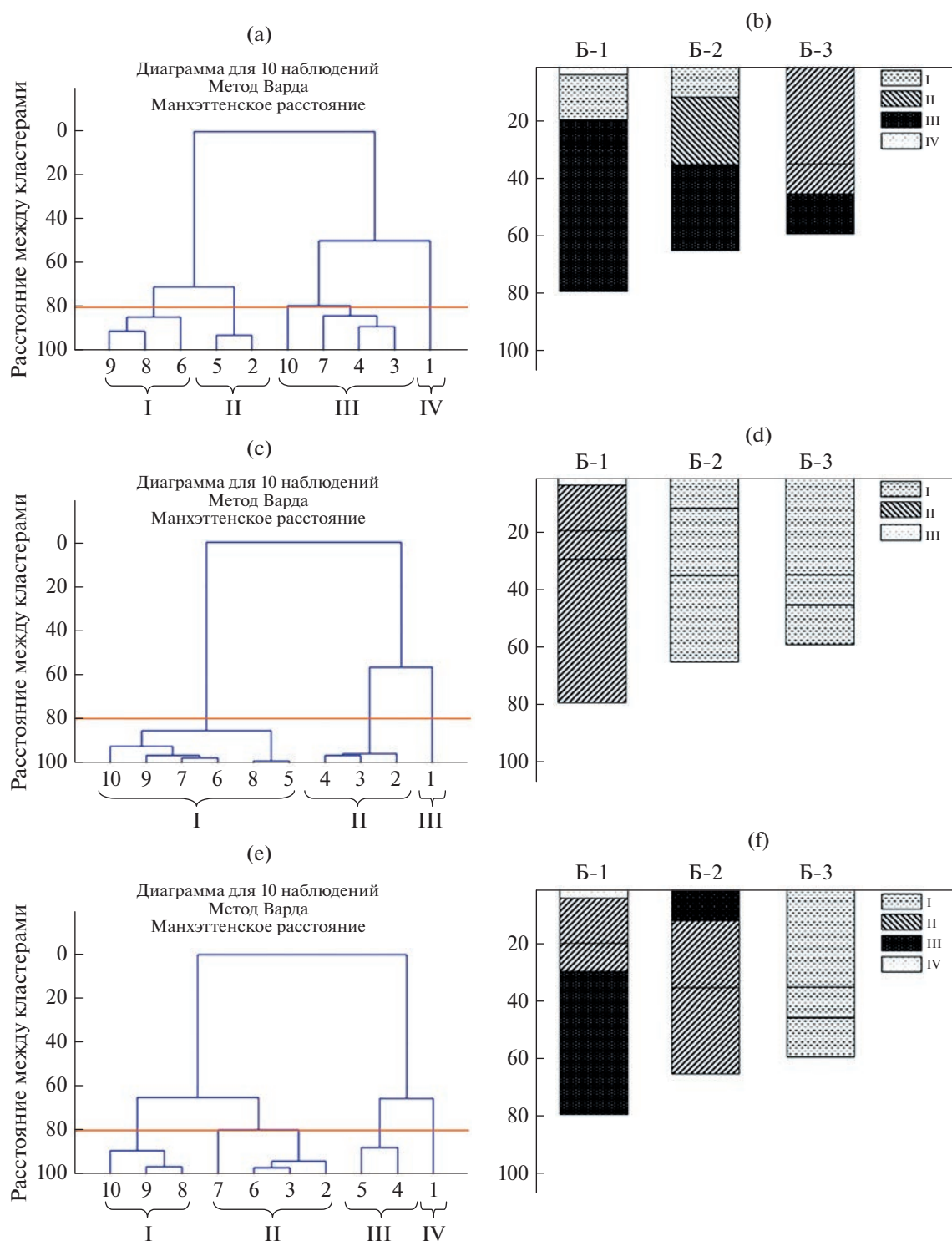


Рис. 5. Дендрограмма сходства и ранжирования почв по данным гранулометрического состава (а, б); физико-химическим свойствам (с, д) и элементному составу почв (е, ф). Номера точек: Б-1: 1 – Sg,ca (0–5 см); 2 – Cg,ox,ca,s (5–20/22 см); 3 – CGs,ca (20/22–30 см); 4 – 2CGs,ca (30–80 см); 5 – AJs (0–15/18 см); 6 – ACsa,s (15/18–34/39 см); 7 – CGca,s (34/39–65 см); 8 – AJca (0–33/39 см); 9 – ACsa,dc,s (33/39–44/47 см); 10 – Csa,s (44/47–60 см).

Региональные геохимические особенности изученных почв связаны с высоким содержанием As в почвообразующих породах.

Наиболее информативные индикаторные свойства имеет гумусово-глеевая почва. По физико-химическим показателям она близка к светло-гумусовой почве, по элементному составу — к солончаку. Этот тип почв можно использовать как основной при проведении мониторинговых наблюдений динамики экосистем.

Выражаем надежду, что исследования по изучению приозерных почв внутриконтинентальных районов Евразии дадут дополнительный материал для развития представлений о многообразии процессов, происходящих в засоленных длительно сезонно-мерзлотных почвах. Продолжение исследований будет связано с дальнейшим изучением разнообразия, генезиса, свойств, геохимической специализации и классификации приозерных почв содового и сульфатного типов засоления.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследования выполнены в рамках темы государственного задания Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (№ госрегистрации 121030100228-4).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абидуева Е.Ю., Сыренжапова А.С., Намсараев Б.Б. Функционирование микробных сообществ в содово-соленых озерах Онон-Керуленской группы (Забайкалье и Северо-Восточная Монголия) // Сибирский экологический журн. 2006. № 6. С. 707–716.
2. Баженова О.И., Черкашина А.А. Голоценовый морфолитогенез в озерных котловинах юго-восточного Забайкалья // Геоморфология. 2018. № 2. С. 4–19. <https://doi.org/10.7868/S0435428118020013>
3. Базилевич Н.И., Панкова Е.И. Методические указания по учету засоленных почв. М.: Гипроводхоз, 1968. 91 с.
4. Березин П.Н. Особенности распределения гранулометрических элементов почв и почвообразующих пород // Почвоведение. 1983. № 2. С. 64–72.
5. Борзенко С.В. Основные условия формирования химического состава вод соленых и солоноватых озер Восточного Забайкалья // Геохимия. 2020. Т. 65. № 12. С. 1212–1230. <https://doi.org/10.31857/S0016752520090034>
6. Борзенко С.В. Причины гидрогеохимического разнообразия соленых озер Восточного Забайкалья // Успехи современного естествознания. 2022. № 9. С. 51–60.
7. Воробьева Л.А. Химия почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
8. Воскресенский С.С., Постоленко Г.А., Симонов Ю.Г. Генезис и строение рельефа юго-восточного Забайкалья // Геоморфологические исследования. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1965. С. 11–122.
9. Глазовская М.А. Почвы мира. М.: Изд-во МГУ, 1972. Ч. 1. 231 с.
10. Горячкин С.В. География экстремальных почв и почвоподобных систем // Вестник РАН. 2022. Т. 92. № 6. С. 564–571. <https://doi.org/10.31857/S0869587322060056>
11. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1 : 1000000 (третье поколение). Лист М50 – Борзя. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2010. 553 с.
12. Градзинский Р., Костецкая А., Радомский А., Унруг Р. Седиментология / Пер. с польск. Под ред. Унруг Р. М.: Недра, 1980. 640 с.
13. Давыдова Н.Д. Биогеохимическая специализация растений степных геосистем Онон-Аргунского междуречья // География и природные ресурсы. 2012. № 3. С. 93–99.
14. Давыдова Н.Д. Состояние озер Онон-Аргунского междуречья в условиях меняющегося климата // География и природные ресурсы. 2020. № 5. С. 147–153. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-5\(147-153\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-5(147-153))
15. Дулепова Б.И. Растительность Даурского озерно-степного заповедника // Ученые записки Забайкальского государственного гуманитарно-педагогического университета им. Н.Г. Чернышевского. 2010. Т. 1. С. 35–39.
16. Ермаков В.В., Гуляева У.А., Тютиков С.Ф., Кузьмина Т.Г., Сафонов В.А. Биогеохимия кальция и стронция в ландшафтах Восточного Забайкалья // Геохимия. 2017. № 12. С. 1115–1127. <https://doi.org/10.7868/S0016752517090023>
17. Замана Л.В., Рихванов Л.П., Соктоев Б.Р., Барановская Н.В., Эпова Е.С., Солодухина М.А., Михайлова Л.А., Копылова Ю.Г., Хвощевская А.А. Новые данные об элементном составе природных вод в районе распространения Уровской (Кашина–Бека) болезни (Забайкальский край) // Изв. Томского политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 1. С. 121–133. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/1/56>
18. Казанский А.Ю., Матасова Г.Г., Щетников А.А., Филинов А.И., Ербаева М.А. Петромагнитные и гранулометрические характеристики четвертичных отложений опорного разреза Тологой (Бурятия, Россия) // Проблемы геокосмоса: Материалы 12-й междунар. школы-конф. Петергоф, 8–12 октября 2018 г. Санкт-Петербург, 2018. С. 105–112.
19. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Моск. ун-та. Сер. География. 2015. № 2. С. 7–17.
20. Касимов Н.С., Касатенкова М.С., Ткаченко А.Н., Лычагин М.Ю., Крооненберг С.Б. Геохимия лагуно-маршевых и дельтовых ландшафтов Прикаспия. М.: Лига-Вент, 2016. 244 с.

21. *Кашицкая М.А.* Исследование динамики площадей водной поверхности озер степной зоны Восточного Забайкалья на основе данных дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 3. С. 242–253. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-3-242-253>
22. *Кияшко Н.В., Комаров И.А., Голованов Д.Л.* Крио-метаморфизм почвенных растворов и формирование солевого профиля солончаков Монголии (по результатам моделирования) // Почвоведение. 2014. № 5. С. 530–536. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14050062>
23. Классификация и диагностика почв России. 2004. Смоленск: Ойкумена. 342 с.
24. Климатический справочник СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1958. Вып. 23. Ч. 1. 288 с.
25. *Ковальский В.В., Блохина Р.И., Засорина Е.Ф., Самарина И.А., Хоботьев В.Г.* Стронциево-кальциевые субрегионы биосферы и биогеохимические провинции // Тр. Биогеохим. лаб. 1978. Т. 15. С. 121–130.
26. *Королук Т.В.* Особенности солевой динамики в длительно-сезонномерзлых засоленных почвах Южного Забайкалья // Почвоведение. 2014. № 5. С. 515–529. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14050098>
27. Лимнология и палеолимнология Монголии. М., 2014. 412 с.
28. *Лукашов А.А.* Тектоно-гидрографические загадки территории заповедника “Даурия”. Взгляд с орбиты // Земля из космоса. 2013. № 16. С. 84–95.
29. *Мордкович В.Г.* Зоологическая характеристика примитивных почв в осушенных зонах соленых озер юга Сибири // Зоологический журн. 1973. Т. 53. № 9. С. 1321–1329.
30. *Мордкович В.Г., Любеченский И.И.* Роль крупных членистоногих (Arthropodia: aranei, inse) в развитии галоморфных почв на юге Сибири // Почвоведение. 2017. № 6. С. 698–710. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17040062>
31. Нагорья Прибайкалья и Забайкалья (История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока) / Отв. ред. Флоренсов Н.А. М.: Наука, 1974. 359 с.
32. *Обязов В.А., Кирилюк В.Е., Кирилюк А.В.* Торейские озера как индикатор многолетних изменений увлажненности Юго-Восточного Забайкалья и Северо-Восточной Монголии // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2021. Т. 3. Вып. 3. С. 204–232. <https://doi.org/10.34753/HS.2021.3.3.204>
33. *Обязов В.А.* Вековые тенденции изменений климата на юго-востоке Забайкалья и в сопредельных районах Китая и Монголии // Метеорология и гидрология. 1999. № 10. С. 33–40.
34. *Парфенов Л.М., Попеко Л.И., Томуртоого О.* Проблемы тектоники Монголо-Охотского орогенного пояса // Тихоокеанская геология. 1999. Т. 18. № 5. С. 24–43.
35. Полевой определитель почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
36. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1990. 236 с.
37. *Скляр Е.В., Склярова О.А., Меньшагин Ю.В., Данилова М.А.* Минерализованные озера Забайкалья и Северо-Восточной Монголии: особенности пространства и рудогенерирующий потенциал // География и природные ресурсы. № 4. 2011. С. 29–39.
38. *Солодухина М.А., Юргенсон Г.А., Смирнова О.К.* Мышьяк в почвах Шерловогорского рудного района // Вестник Забайкальского центра РАЕН. 2010. № 1. С. 15–19.
39. Солончатые и соленые озера Забайкалья: гидрохимия, биология. Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2009. 332 с.
40. *Солотчин П.А.* Литолого-минералогические летописи донных отложений озер сибирского региона как основа палеоклиматических реконструкций. Автореф. дис. ... докт. геол.-минерал. наук. Новосибирск, 2023. 42 с.
41. *Сочава В.Б., Тимофеев Д.А.* Физико-географические области Северной Азии // Докл. ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. 1968. Вып. 19. С. 3–19.
42. *Титлянова А.А., Мордкович В.Г.* Некоторые биогенотические особенности осушенной зоны озера Большой Чинданд // Изв. СО АН СССР. Сер. Биологическая. 1970. № 5. С. 59–66.
43. *Ткачук Т.Е., Жукова О.В.* Результаты мониторинга растительности на стационарном геоботаническом профиле в Даурском заповеднике // Природоохранное сотрудничество: Россия, Монголия, Китай. 2010. № 1. С. 290–294.
44. *Хадеева Е.Р.* Галогенез почв Забайкалья и Предбайкалья. Автореф. дис... канд. биол. наук. Иркутск, 2021. 20 с.
45. *Черноусенко Г.И.* Засоленные почв юга Восточной Сибири. М.: МАКС Пресс, 2022. 480 с.
46. *Чичагов В.П.* Ураган 1980 года в Восточной Монголии и особенности эолового рельефообразования в Центральной и Восточной Азии. М.: Ин-т географии РАН, 1998. 205 с.
47. *Шварцев С.Л., Колпакова М.Н., Исупов В.П., Владимиров А.Г., Ариунбилэг С.* Геохимия и формирование состава соленых озер Западной Монголии // Геохимия. 2014. № 5. С. 432–449. <https://doi.org/10.7868/S0016752514030078>
48. *Юргенсон Г.А., Солодухина М.А., Смирнова О.К., Смирнов А.А., Боковенко Л.С.* К проблеме биологического поглощения токсичных химических элементов растениями в природных и геотехногенных системах // Вестник МАНЭБ, 2009. Т. 14. № 3. С. 110–113.
49. *Borzenko S.V., Shvartsev S.L.* Chemical composition of salt lakes in East Transbaikalia (Russia) // *Ap Geochemistry*. 2019. № 103. P. 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.02.014>
50. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports № 106. FAO, Rome. 192 p.

51. *Kashnitskaya M.A., Bolgov M.V.* Closed Torey lakes: is it possible to predict changes in hydrological regime? // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2021. V. 46. P. 341–344.
<https://doi.org/10.3103/S1068373921050095>
52. *Kroonenberg S.B., Baduykova E.N., Storms J.E.A., Ignatov E.I., Kasimov N.S.* A full sea-level cycle in 65 years: barrier dynamics along Caspian shores // *Sedimentary Geology*. 2000. V. 134. P. 257–274.
53. *Last W.M.* Geolimnology of salt lakes // *Geosci. Journal*. 2002. V. 6. P. 347–369.
54. *Retallack G.J.* Soils of the Past: an Introduction to Paleopedology. 2nd Ed. // Oxford: Blackwell, 2001. 600 p.
55. *Sun D.* Soda lakes and origin of their trona deposits on the Nei Mongol plateau of China // *Chin. J. Ocean., Limnol.* 1987. V. 5. P. 351–362.
56. *Tkachenko A.N., Gerasimova M.I., Lychagin M.Yu., Kasimov N.S., Kroonenberg S.B.* Bottom sediments in deltaic shallow-water areas – are they soils? // *Geography Environment Sustainability*. 2016. V. 1. P. 39–52.
57. *Williams W.D.* Chinese and Mongolian saline lakes: a limnological overview // *Hydrobiologia*. 1991. V. 210. P. 39–66.
58. *Zhao W.* Biological and ecological features of inland saline waters in North Hebei, China // *International J. Salt Lake Research*. 1999. № 8. P. 267–285.
59. *Zhao W., Zheng X.Z., Zhao M.P.* Biological and ecological features of saline lakes in northern Tibet, China // *Hydrobiologia*. 2005. V. 541. P. 189–203.
60. *Zheng X.* Salt lakes and their origins in Xinjiang, China // *Chin. J. Ocean., Limnol.* 1987. V. 5. P. 172–185.

Soils of Lakeside Depressions of Pulsing Chloride Lakes of Internal Runoff in Central Asia: Morphology, Physical-Chemical and Geochemical Features

V. I. Ubugunova¹*, L. L. Ubugunov¹, A. D. Zhambalova¹, T. A. Ayushina¹, and V. L. Ubugunov¹

¹*Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, 670047 Russia*

*e-mail: ubugunova57@mail.ru

Data on saline soils of drainless lakeside depressions, which are formed in areas of extra continental climate with a cyclic 25–30-year change in the level of lakes within the arid and humid climatic phases, were obtained first. Different types of soils are shown to be formed on the landscapes adjacent to highly mineralized chloride lakes of southeastern Trans-Baikal Region: on supraaqueous–subaqueous positions– gleyic solonchaks (Gleyic Solonchak (Loamic, Chloridic)); on supraaqueous – humus–gley saline soils (Calcaric Mollic Gleysol (Arenic, Endosalic, Sodic)); on eluvial-supraaqueous – light-humus saline soils (Fluvic Kastanozem (Epiarenic, Amphiloamic, Sodic)). Salinity degree of the soils under the study is different. Salinity chemistry is sodium taking into account cations. Anion content in solonchaks and upper horizon of humus-gley soil is mostly chloride. Soda-chloride and chloride-soda anion composition prevail in other soils. Gleyic solonchaks have strongly alkaline pH values, high content of carbonates, and a sharp dominance of Na⁺ among exchangeable cations. Many chemical elements are concentrated in the solonchakous horizon (Sr, S, Li, Mg, Ca); a high content of As is a regional feature. The humus-gley saline soil has the same properties as the light-humus saline soil in terms of physico-chemical parameters, and in terms of elemental composition and texture as solonchaks. This is due to it functions periodically in a semihydromorphic or hydromorphic regimes when changing the arid and humid phases. The high level of groundwater contributes to the enrichment of soils with the elements typomorphic for lake waters. The paleohydromorphic stage of development has been established to be recorded in lower layers of light-humus saline soil in the form of a high content of easily soluble salts and carbonates. The geochemical specialization of soil-forming rocks is associated with the significant accumulation of As, as well as concentration of Li, Ba, and Pb. It was also revealed that low Ca/Sr ratio is their geochemical feature. The use of cluster analysis of indicators of soils under the study revealed that both dynamic and stable soil parameters are reflected in humus-gley soil and it is recommended for monitoring of the dynamics of endorheic lakeside ecosystems in Central Asia with cyclic climatic phases.

Keywords: highly mineralized lakes, cyclical phases of functioning, lakeside soils, salinity