

Изотопно-геохимический состав карбонатных новообразований почв Джулукульской котловины, горный Алтай

Васильчук Джессика Юрьевна

старший лаборант, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ)

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, каб. 2007

✉ jessica-vasilchuk@gmail.com



Кречетов Павел Петрович

кандидат биологических наук

доцент, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ)

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, оф. 2007

✉ krechetov@mail.ru



Литвинский Владимир Анатольевич

инженер, Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН

117647, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, 123

✉ vl.litvinskiy@gmail.com



Аннотация. Предметом исследования являются натечные карбонатные новообразования, кутаны на нижних поверхностях крупнообломочного материала, характерные для районов резко континентального аридного климата. Карбонатные корки, кутаны, представляют из себя комплексные образования, залегающие послойно, содержащие помимо карбонатного материала также силикатный, внутри встречаются и тонкие включения органического материала. Мощность кутан варьирует от 1 мм до 7 мм. Исследуемые новообразования располагаются в пределах профилей криоаридных почв Джулукульской котловины. Основными характеристиками изотопно-геохимического состава карбонатных кутан являются: состав изотопов кислорода и углерода, валовое содержание макро- и микроэлементов. Основные методы исследования: масс-спектрометрическое изучение изотопного состава, рентген-флуоресцентный метод для измерения валового содержания макро- и микроэлементов, газовольметрический метод измерения содержания рассеянных карбонатов в почвах, метод ионной хроматографии для измерения водорастворимых форм карбонатов. Охарактеризован изотопный и элементный состав карбонатных кутан. Карбонатные новообразования в криоаридных почвах представлены в основном карбонатами кальция, но в материале новообразований при этом нередко преобладает кремний, алюминий и железо. Среди измеренных микроэлементов значительные концентрации демонстрируют Mn, Sr, Cu, Cr. Наблюдается тренд утяжеления изотопного состава углерода и облегчение изотопного состава углерода от внутренних слоев карбонатных кутан к внешним. Приведенные данные свидетельствуют о том что в течение времени

формирования кутан условия среды значительно менялись.
Ключевые слова: изотопы кислорода, карбонатные минералы, озерные котловины, изотопы углерода, Алтай, криоаридные почвы, карбонатные кутаны, стабильные изотопы, поверхностные воды, многолетнемерзлые породы.

DOI: 10.7256/2453-8922.2016.1.21331

Дата направления в редакцию: 12-12-2016

Дата публикации: 16-12-2016

Vasil'chuk J.Yu., Krechetov P.P., Litvinsky V.A. 2016. Carbonate pendants' stable isotope and chemical composition in soils of Djulukul depression, Altai mountains. *Arctic and Antarctic*. N1. P. 40—51.

Химико-аналитические работы и анализ данных выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 14-27-00083)

Введение

Карбонатные кутаны, также описываемые в литературе как «бородки» или «корки» (Волковинцер, 1979) – натечные педогенные новообразования, которые образуются на поверхности почвенных агрегатов или каменистых включений. Подобные новообразования встречаются в почвах аридных и семиаридных ландшафтов и изучены рядом исследователей (Волковинцер, 1978, 1979; Пустовойтов, Таргульян, 1996; Гончарова, 1997; Смоленцева, 2008; Голубцов, Черкашина 2014; Marion et al, 2008; Mann et al, 1986; Pustovoytov, 2002; Tedrow, 1978; Vogt, Corte, 1996, Cherkinsky et al, 2014). Натечные новообразования на нижних поверхностях обломочного материала являются характерным признаком отдела палео-метаморфических почв и в частности типа криоаридных почв. В «Классификации почв России» (2004) они впервые выделяются как один из типов отдела палео-метаморфических почв, при этом указывается, что разделение криоаридных почв на подтипы при настоящей слабой их изученности не целесообразно. Хотя данный тип почв имеет название с отсылкой к факторному подходу, выделен он из-за своего своеобразия, которое впервые было обозначено еще в 60-70 годы XX века В.И. Волковинцером (1968, 1979) выделившим отдельный тип почвообразования холодных экстраконтинентальных аридных территорий. Эти почвы ранее описывались как каштановые и горные каштановые (Петров, 1952; Носин, 1963). Обобщая имеющиеся данные (Волковинцер, 1979, Биликтуева, 2007) можно говорить о специфических криоаридных ландшафтах формирующихся в условиях ультраконтинентального экстрааридного антициклонального (криоаридного) климата, характеризующегося отрицательной среднегодовой температурой воздуха и крайне малым среднегодовым количеством осадков, сплошным и островным распространением многолетнемерзлых пород, произрастанием криоксерофильной растительности и специфическим типом почвообразования. В.И. Волковинцер (1979) исследовал такие ландшафты на весьма обширной территории, в холодных аридных районах Северо-Восточной Азии и севера Центральной Азии, располагающихся в пределах крупных внутриматериковых и географически удаленных друг от друга горных сооружений на территории Якутии, Забайкалья, Тувы, Горного Алтая, Центрального Тянь-Шаня и Монголии.

Карбонатные минералы в виде кутан являются характерными также и для полярных пустынь (о.Сеймур, арх.Шпицберген), континентальных тундр (Центральная Якутия), степей (Забайкалье), пустынь (пустыня Мохаве, США, Сирия), а также в горных экстраконтинентальных областях Евразии (Тыва, Алтай). В срединных горизонтах крайнеаридных почв Илийской котловины (Казахстан) также описаны карбонатные и глинисто-карбонатные кутаны (Лебедева и др. 2015). Выпадение карбонатов из почвенных растворов в постоянно жарком аридном климате зачастую связано с изменением растворимости CO_2 при повышении температуры и испарительной концентрацией (Marion et al, 2008), в холодных же континентальных областях в педогенез включается также и процесс промерзания. Источником карбонатов в почвенном растворе могут являться карбонатные почвообразующие породы, аллохтонный карбонатный материал (например, эоловая пыль), а также минерализованные грунтовые воды.

Криоаридные межгорные котловины Юго-Восточного Алтая отличаются распространением преимущественно бескарбонатных пород и своеобразием истории развития территории, связанным с появлением в плейстоцене-голоцене лимногляциальных комплексов (Михайлов, 2001).

Цель данной работы состоит том, чтобы охарактеризовать изотопный и химический состав карбонатных новообразований в Джулкульской котловине.

Объекты и методы

Объектом исследования являются карбонатные натечные новообразования на нижних поверхностях обломочного материала, обнаруживаемые в почвах слона южной экспозиции котловины озера Ак-Холь ($50^{\circ}16,234'$ с.ш., $89^{\circ}35,750'$ в.д.), располагающейся в пределах Джулукульской межгорной впадины, на юго-востоке Горного Алтая, на территории Монгун-Тайгинского района республики Тыва. Озеро Ак-Холь расположено на высоте 2200 метров н.у.м. На юго-западе котловина озера Ак-Холь граничит с хребтом Чихачева (юго-западная граница всей Джулукульской впадины). Помимо озера Ак-Холь, площадью около 4 км^2 , являющегося проточным в пределах котловины в понижениях обнаруживаются и небольшие по площади высокогорные бессточные озера, площадью менее 1 км^2 , одно из них, находящееся в долине пересохшего водотока также было исследовано. Из озера Ак-Холь вытекают р. Ак-Карасуг, р. Ак-хем, впадают р. Чеди-тей (Джедитей), р. Шынгылдырак. Подземные воды в районе долины реки Ак-Карасуг имеет гидрокарбонатно-кальциевый состав, минерализацию $0,19 \text{ г/л}$ и дебит $0,5 \text{ л/сек}$ (Гидрогеология СССР Том XVIII, 1972). Эльвий представлен окатанными и слабо окатанными обломками гнейсов и гранитов. Согласно П.П.Сушкину (1938) для Юго-Восточного Алтая характерен климат монгольского типа - сухой антициклональный и холодный субаридный. Резкие колебания температур наблюдаются не только по сезонам года, но и даже в течение суток. Короткий безморозный период, небольшое количество осадков (около 100 мм в год) с летним максимумом, высокая инсоляция, малоснежная зима, наличие островов многолетней мерзлоты - это показатели сурового резко континентального климата монгольского типа, особенно характерного для межгорных котловин.

На склоне южной экспозиции в соответствии с элементами рельефа было заложено два профиля с восемью разрезами в том числе на древних террасах озера и долине пересохшего водотока (возможно ложбина стока талых ледниковых вод), занятой бессточным озером (далее Безымянное озеро). Разрезы, подробно рассматриваемые в статье располагаются на пойме оз. Ак-холь (АК-10), безымянного озера (АК-03), на склоне ложбины безымянного озера (АК-1), на автономной позиции, древней террасы озера Ак-Холь (АК-0), на пологом участке ниже по склону (АК-2), на террасе озера Ак-Холь (АК-8).

Большинство исследованных почв (за исключением разрезов расположенных на поймах озер, относятся к типу криоаридных. Профиль криоаридных типичных почв включает горизонты АК (криогумусовый), ВРЛ (палевый), ВСА (иллювиально-карбонатный), С (материнская порода, в данном случае бескарбонатная, представленная гранитами, гнейсами, хлоритовыми сланцами). Классификация почв проводилась согласно классификации почв России (2004).

Карбонатные кутаны (рис. 1) обнаруживались на нижних сторонах гальки и щебня. Толщина кутан различна от долей миллиметра до нескольких мм (4-7). Новообразования представляют собой многослойные корки сплошного либо дискретного распространения. Слои имеют различный цвет, адгезивные свойства, толщину, состав: это рыхлые карбонатные белесые обычно вышележащие слои, силикатно-карбонатные плотные белесые и желтоватые слои, гумусово-карбонатные бурые слои. Изотопный состав измерялся в различных слоях карбонатных корок. Слои отделялись от фрагментов породы с помощью многофункционального инструмента Dremel 8200 с круговой насадкой с алмазным покрытием. Для элементного анализа кутаны отбирались целиком, ввиду малого количества материала.



Рис. 1. Карбонатная кутана на поверхности гальки крупнокристаллических пород

Во всех разрезах выполнялся отбор образцов мелкозема через 10 см с учетом генетических горизонтов для исследования физико-химических и

химических характеристик почв. Образцы почв просушивались до воздушно-сухого состояния и растирались до фракции 1 мм в фарфоровой ступке. Кисотно-щелочные свойства почв определялись потенциометрическим методом в водной суспензии (1:5), с помощью pH-метра. Сумма растворенных солей определялась в водной вытяжке кондуктометрическим методом с помощью TDS-метра. Содержание CaCO_3 в мелкоземе определялось газовольметрическим методом с помощью кальциметра и 10% HCl . Состав водной вытяжки почв (вытяжка 1:5, для разреза АК-ОЗ вытяжка с соотношением 1:50) определялся различными методами в том числе, методом кислотно-основного титрования с 0,01 М H_2SO_4 определялась карбонатная и общая щелочность (CO_3^{2-} , HCO_3^-). Концентрации ионов Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , F^- определялись методом ионной хроматографии. Концентрация Ca^{2+} , Mg^{2+} определялась методом комплексометрического титрования с 0,05 Н Трилоном-Б (Кречетов, Дианова, 2009). Содержание Na^+ и K^+ определялось с помощью атомно-абсорбционного спектрометра Analytik-Jena novAA400 с пламенным атомизатором.

Также изучены состав и свойства поверхностных вод. Непосредственно в поле определялись pH и минерализация поверхностных вод. Для химического и изотопного анализа образцы воды отбирались в пластиковые флаконы, емкостью 60 мл таким образом, чтобы во флаконе не оставалось «пузырька» воздуха, затрудняющего изотопный анализ, ввиду эффекта уравнивания CO_2 воздуха и CO_2 растворенного в воде. Измерения изотопного состава кислорода и водорода вод и к произведены в эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова с помощью масс-спектрометра Finnigan Delta-V со стандартной опцией газ-бенч. Для измерений использовались стандарт V-SMOW - международный стандарт среднеокеанической воды (значение $\delta^{18}\text{O} = 0\text{‰}$, $\delta\text{D} = 0\text{‰}$), а также международный стандарт GISP ($\delta^{18}\text{O} = -24,76\text{‰}$, $\delta\text{D} = -189,5\text{‰}$) SLAP (его $\delta^{18}\text{O} = -55,5\text{‰}$, $\delta\text{D} = -427,5\text{‰}$). Аналогичным методом измерялся изотопный состав углерода и кислорода карбонатов, для получения CO_2 растертый до фракции пудры в агатовой ступке материал новообразований обрабатывался 100% ортофосфорную кислоту, для измерений использовался стандарт V-PDB. Точность определений $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ составила 0,1‰. Ионный состав воды определялся методом ионной хроматографии с помощью ионного хроматографа «Стайер» (ЗАО «Аквилон») в эколого-геохимическом центре географического факультета. Определено содержание ионов Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , F^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ . Элементный состав карбонатных новообразований (содержание основных макро и микроэлементов) определялся методом рентген-флуоресцентного анализа с использованием прибора «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV».

В качестве эталонов сравнения для содержания элементов в новообразованиях использовались кларки карбонатных пород (Беус и др, 1976) и кларки химических элементов континентальной земной коры (Виноградов, 1962). Были рассчитаны кларки концентрации $\text{KK} = \text{C}/\text{K}$ и рассеяния $\text{KP} = \text{K}/\text{C}$, где C — содержание элемента в почвах, мг/кг; K — кларк элемента в верхней части континентальной земной коры, мг/кг (Перельман, Касимов, 1999).

Результаты и обсуждение

В макроэлементном составе (рис.2) исследованных новообразований преобладает кремний 37,7 – 74,9%, алюминий 6,1 – 9,4%, кальций 0,4 – 16,2%, железо 3,0 – 5,1%, магний 0,8 – 3,3%..

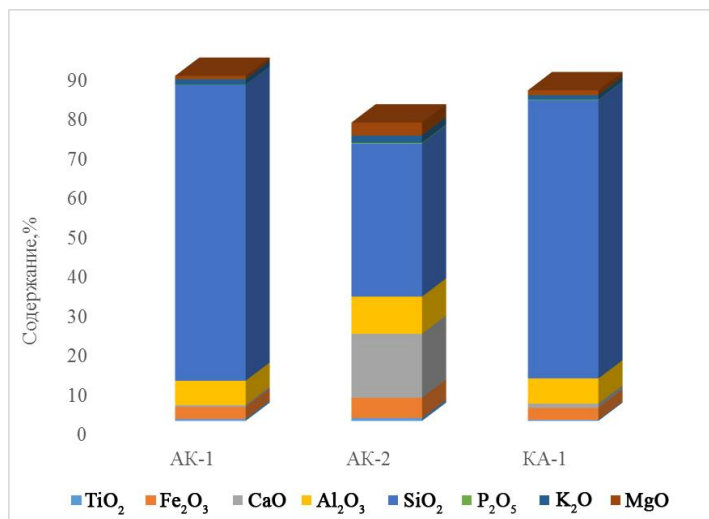


Рис. 2. Содержание макроэлементов в кутанах Джулукульской котловины (АК-1, АК-2), в сравнении с Чуйской котловиной (КА-1)

А.И.Гусевым (2013) проанализирован средний состав различных петрогенетических типов гранитоидов Алтая, чьи разновидности являются доминирующими породами в исследуемом нами регионе. Во всех типах преобладает SiO₂ (64,14-73,81%), Al (12,40 – 15,18%), Na₂O (2,41-4,90%), K₂O (1,26-5,5%), CaO(0,75-4,27), FeO вместе с Fe₂O₃ (2,82 – 4,29%). Из пересечений приведенных диапазонов видно сходство измеренного состава некоторых измеренных новообразований с составом гранитоидов Алтая. Поскольку слои силикатно-карбонатных и карбонатных новообразований отбирались вместе, наиболее корректным для карбонатных новообразований следует признать результат, полученный для разреза АК-2, результаты для разрезов АК-1 и КА-1 показывают состав силикатных кутан в смеси с карбонатными. Таким образом для карбонатных кутан характерно высокое содержание кремния, кальция и железа, а также алюминия и магния.

При микрозондировании подобных кутан в Южном Прибайкалье В.А.Голубцов и А.А.Черкашина (2014) также получили выраженные пики а области CaO (а также С), Si, Mg, Fe, Al. Что позволяет предположить, что новообразования в значительной степени из карбоната кальция, а также из глинистых минералов, вероятно перешедших из вмещающей почвенной массы (Голубцов, Черкашина, 2014) и из кремнезема.

Из макроэлементов в кутанах также присутствует марганец (714-1022 ppm), Среди микроэлементов (рис. 3) преобладает стронций (297-497 ppm, медь (148-151 ppm). Содержание кобальта и хрома колеблется в диапазонах (6-40 и 36-93 ppm , соответственно). Свинец был встречен только в образце из Чуйской котловины (КА-1). Для сравнения количественных характеристик содержания элементов были выбраны кларки химических элементов верхней

части континентальной земной коры А.П.Виноградова (1962) и кларки элементов карбонатных пород А.А.Беуса и др (1976).

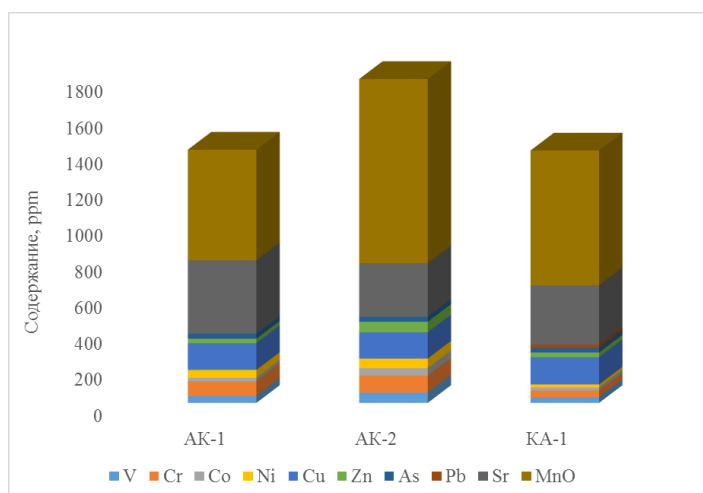


Рис. 3. Содержание микроэлементов и MnO в кутанах Джулукульской котловины (АК-1, АК-2), в сравнении с Чуйской котловиной (КА-1)

Содержание в кутанах ваннадия превышает кларки карбонатных пород во всех образцах в 1,6-2,8 раз, но не превышает кларки континентальной земной коры, подобное же явление наблюдается и по отношению к никелю, чей кларк карбонатных пород превышен в 8-27 раз и к цинку (1,2-2,9 раз).

Содержание хрома также значительно превышает среднее содержание в карбонатных породах (3,3-8,5) и примерно соответствует среднему содержанию в земной коре. Содержание кобальта в 163-403 раза превышает содержание в карбонатных породах, причем наибольшее превышение в образце наиболее адекватно, по нашему мнению, отражающем именно карбонатную составляющую новообразований, в этом же образце в 2,2 раза превышено содержание по сравнению с континентальной земной корой. Кларки меди в обоих типах пород значительно превышены для карбонатных пород это превышение составляет 36-37 раз, для континентальной земной коры 3,1-3,2. Для мышьяка существует только кларк земной коры А.П.Виноградова, и содержание мышьяка в исследованных новообразованиях превышает его в 16 раз. Свинец был обнаружен только в образце новообразований в Чуйской котловине. По сравнению кларк концентрации свинца относительно карбонатных пород составил 42, по сравнению с кларком А.П.Виноградова накопления не происходит. Содержание стронция в новообразованиях близко к содержанию в земной коре и карбонатных породах. Кларк рассеяния наиболее велик у ваннадия и составляет 1,5-2,8. Таким образом можно говорить о накоплении кобальта, мышьяка и меди в исследованных новообразованиях.

Значения $\delta^{13}\text{C}$ карбонатного материала кутан (рис. 4) колеблются в широком диапазоне от -6,3 до 8,1 ‰ (V-PDB). Наименьшие значения наблюдались в карбонатных рыхлых кутанах почв наиболее автономной позиции (АК-0), наибольшие в гумусово-карбонатных кутанах в почвенном профиле террасы озера (АК-8). Наблюдается утяжеление изотопного состава углерода от внутренних кутан к внешним (диапазон изменений 0,5-0,8‰), что говорит о дифференциации условий их формирования.

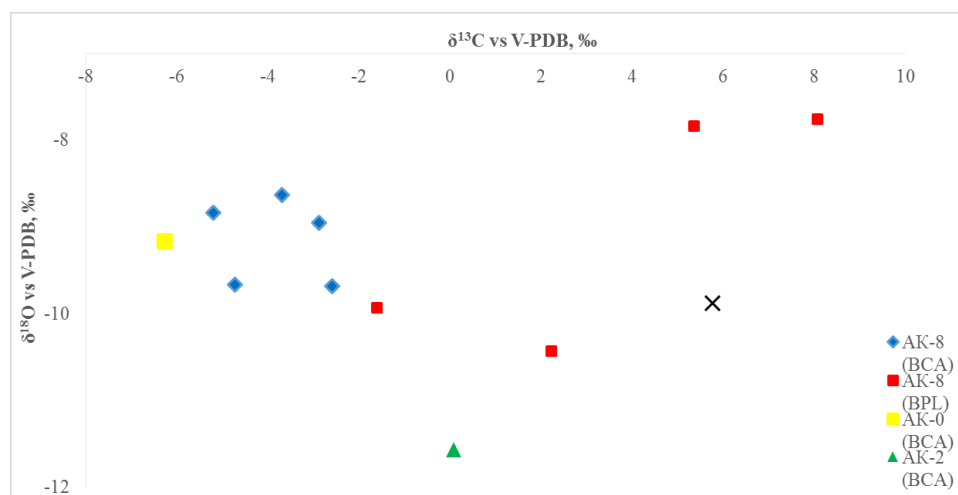


Рис. 4. Изотопный состав углерода и кислорода кутан Джулукульской котловины

Изотопный состав кислорода варьирует в меньшем диапазоне, значения $\delta^{18}\text{O}$ составляют от -7,8 до -11,6‰ на террасе озера Ак—Холь и трансэлювиальной позиции (АК-2), соответственно. Изотопный состав кислорода кутан облегчается со внутренних кутан к внешним (0,4-0,9‰). $\delta^{13}\text{C}$ карбонатных кутан палевого и иллювиально-карбонатного горизонтов значительно различаются, для более высоко залегающих карбонатов (залегающих в палевом горизонте BPL) характерны более положительные значения $\delta^{13}\text{C}$.

Это может говорить о многостадийности формирования карбонатного профиля исследованных криоаридных почв. В.А.Голубцовым с соавторами (2014) отмечены тренды противоположные нашим, то есть облегчение изотопного состава углерода во внешних (предположительно более молодых) слоях кутан первой группы по отношению к внутренним (более древним), которое может отражать увеличение интенсивности почвенного дыхания и/или повышение плотности растительного покрова. По их мнению, это может являться свидетельством некоторого улучшения условий для развития фитоценозов Прибайкалья. Возможно, что одним из ведущих факторов, повлиявших на подобные изменения, явилось повышение среднегодовых температур на исследуемой территории во время формирования натеков. Об этом свидетельствует корреляция облегчения изотопного состава углерода с увеличением значений $\delta^{18}\text{O}$ от внутренних к внешним слоям натеков.

Для исследуемой нами территории тренды изотопного состава углерода и кислорода в переслаивающихся кутанах противоположны и также характерен холодный и сухой климат и крайне бедная растительность можно предположить, что во время формирования кутан, чей возраст установлен А. Черкинским., М.А.Бронниковой М.А, и И.В.Туровой (Cherkinsky et al., 2014) на данной территории как 6,0-7,3 тыс лет, условия менялись в сторону аридизации и похолодания. По мнению Т.А.Бляхарчук (Blyaharchuk, 2007), реконструировавшей палеоландшафтные условия по колонкам донных отложений озера Ак-Холь, можно говорить о более теплых условиях 6 тысяч лет назад, поскольку в это время в котловине озера по данным палинологического анализа преобладали более теплолюбивые растительные

ассоциации. Т.А.Бляхарчук говорит о температурах воздуха, превышающих современные на 5°C. Для озера Груша, в Джулукульской котловине также были отмечены более теплые и влажные условия в промежутке 8-5 тыс лет назад. Для байкальского региона (Васильчук и др., 2006) имеются данные о среднезимней температуре в Чарской котловине в период с 7,5 до 10 тыс. лет назад, она согласно изотопным данным варьировала от -26 до -21°C, но большую часть времени составляла -26, -23°C, т.е. была обычно заметно (на 3° и более) ниже современной. Для более северных территорий (Vasil'chuk, Vasil'chuk, 1995) 6-7 тысяч лет назад условия были реконструированы как близкие к современным, за исключением более суровых зим.

Для корректного исследования состава легкорастворимых солей (рис. 5) в почвенных профилях был исследован также химический состав вод озера Ак-Холь и безымянного озера.

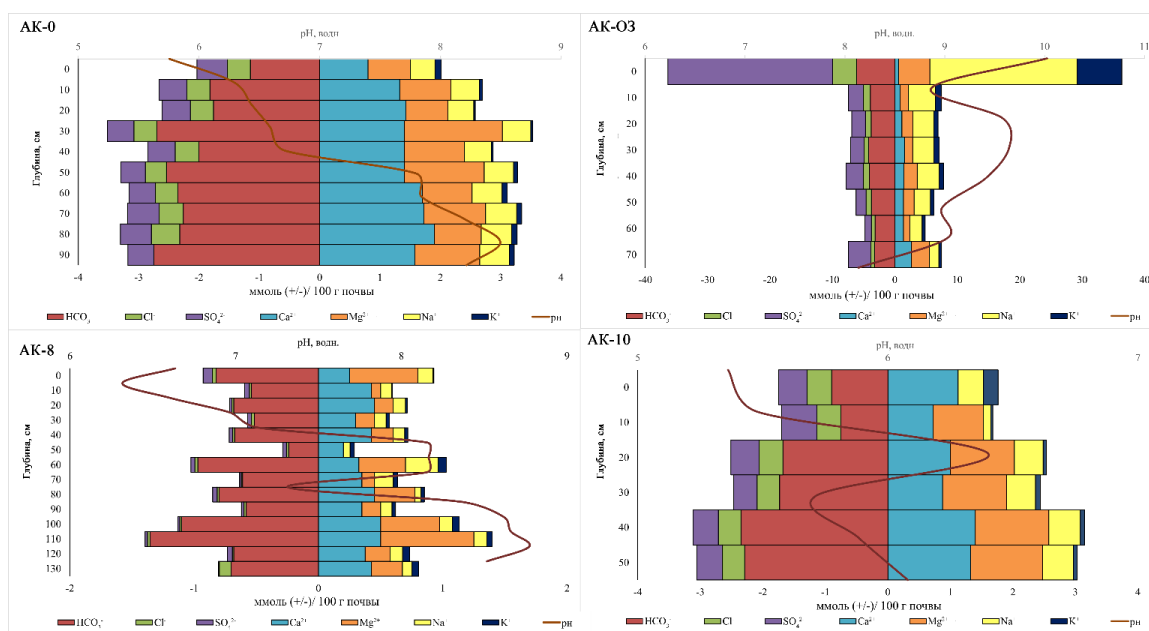


Рис. 5. Состав водорастворимых солей почв Джулукульской котловины и pH водных вытяжек почв

Для вод озера Ак Холь характерна нейтральная реакция среды (pH = 6,9), низкая минерализация (18 мг/л, озеро ультрапресное), гидрокарбонатно-кальциевый состав. Воды минерализованного бессточного безымянного озера характеризуется более щелочной реакцией среды (pH = 7,6), минерализацией 400 мг/л (в 22 раза большей чем в озере Ак-Холь) и гидрокарбонатно-натриево-магниевым составом. Воды различаются по изотопному составу значение $\delta^{18}\text{O}$ вод озера Ак-Холь составляет -15,19‰, значение $\delta^{18}\text{O}$ вод безымянного минерализованного озера составляет -6,13‰. Такое различие может говорить о разных источниках питания и в частности о связи более минерализованного озера с подземными водами. Следует отметить также утяжеление изотопного состава вследствие испарительного концентрирования.

Помимо собственно карбонатных кутан в исследуемых почвах в мелкозем присутствуют и рассеянные формы карбонатов. Радиальное распределение карбонатов в мелкозем почв криоаридной катены разрезы (AK-0, AK-8, AK-10)

совпадает с изменением концентрации карбонатных новообразований в профиле, максимум наблюдается в иллювиально-карбонатных горизонтах BCA_{ic}, максимальные значения достигают 2,18%. Величина pH варьирует по профилю в зависимости от содержания карбонатов от 5,7-6,2 в горизонте АК до 8,3-8,7 в горизонте BSA, pH в бескарбонатном стратоземе серогумусовом водно-аккумулятивном (АК-10) варьирует от 5,7 до 6,0. Латеральное распределение карбонатов в мелкозем почв катены согласуется с аккумулятивно-денудационными свойствами элементов рельефа. Был рассчитан коэффициент латеральной миграции (L) по средним значениям содержания карбонатов в иллювиально-карбонатных горизонтах почв относительно автономной позиции. Транс-аккумулятивные позиции (например, разрез АК-2) выложенных участков склона характеризуются накоплением карбонатов по сравнению с автономной АК-0. В транс-элювиальных позициях (АК-8) на борту террасированного уступа происходит вынос карбонатов по сравнению с автономной позицией. остав легкорастворимых солей исследованных почв преимущественно гидрокарбонатно-кальциево-магниевый. Сумма солей не превышает 0,2%. В разрезах автономной позиции (АК-0) и на пойме озера (АК-10) заметна роль хлоридов и сульфатов в общем составе водной вытяжки, В профиле почвы на террасе озера (АК-8) очевидно абсолютное преобладание карбонатов кальция и магния, также заметно участие калия. Криоаридно-гидрометаморфический ландшафт (разрезы АК-0, АК-03) сформировался на склоне ложбины стока талых ледниковых вод предположительно под воздействием современного гидроморфизма (влияние бессточного минерализованного озера), который наложился на воздействие экстрааридного климата и многолетнемерзлых пород (залегающих на глубине 2-3 метра на хорошо дренируемых позициях). Карбонаты в почвах представлены не только натечными новообразованиями в криоаридных типичных натечно-карбонатных почвах (на автономной и транс-аккумулятивной позициях, АК-0 и АК-1), но также и рассеянными в профиле карбонатами, а также карбонатной пропиткой солончака квазиглеевого и криоаридной гидрометаморфизованной почвы и солевыми выцветами на поверхности солончака квазиглеевого (АК-03). Почва разреза АК-03 была диагностирована как солончак квазиглеевый, поскольку содержание солей в верхних 10 см превышает 1% и составляет 4,9%, также присутствует квазиглеевый горизонт Q. В профиле солончака в разрезе АК-03 нет натечных карбонатных новообразований, но присутствуют гумусовые кутаны, профиль вскипает от 10% HCl с поверхности, на протяжении всего профиля pH щелочной (8,86 – 10,03). Самые высокие значения pH приурочены выцветам солей на поверхности почвы. Профиль криоаридной натечно-карбонатной гидрометаморфизованной почвы (АК-1), находящейся в транс-аккумулятивной позиции отличается накоплением карбонатов, вероятно подвергся влиянию вод безымянного озера, поскольку в составе легкорастворимых солей в водной вытяжке в составе водной вытяжки этой почвы магний доминирует над кальцием, так же как и в водах озера. При этом в солончаке непосредственно на берегу озера появляется еще и натрий. В целом большее количество карбонатов (до 10%) в разрезе на транс-аккумулятивной (АК-1) по сравнению с автономной позицией (АК-0), может быть связано тем, что разрез находится в мезопонижении, где происходит накопление вещества и слабый его вынос.

Заключение

Рассмотренные части склона южной экспозиции котловины озера Ак-Холь различаются по происхождению карбонатных новообразований и химизму почв. Радиальное распределение содержания карбонатов криоаридной катены в почвах показывает, что максимумы содержания карбонатов приурочены к горизонтам ВСА криоаридных почв, карбонаты присутствуют в почвах с поверхности, за исключением стратозема в супераквальной позиции. На радиальное распределение содержания карбонатов в мелкоземе почв криоаридно-гидрометаморфической катены влияет бессточное озеро, находящееся в ложбине стока талых ледниковых вод и возможно подпитывающееся подземными водами.

Латеральное распределение содержания карбонатов в почвах криоаридной катены согласуется с элементарными ландшафтами, то есть наблюдается накопление карбонатов (возможно остаточное) в транс- аккумулятивных позициях и вынос в транс-элювиальных.

В почвах криоаридной катены преобладают гидрокарбонаты кальция и магния, как и в новообразованиях в почвах этой катены, в то же время в почвах криоаридно-гидрометаморфической катены встречаются также и карбонаты натрия.

Генезис карбонатных корок (кутан) на нижних поверхностях обломочного материала вероятно связан с палеогидроморфизмом, на это указывает их местонахождение – древние террасы озера, которое вероятно служило источником карбонатов.

Преимущественно состав карбонатных новообразований определяют такие макроэлементы как кремний, кальций, железо, алюминий и магний. Можно говорить о накоплении таких микроэлементов как кобальт, мышьяк и медь в исследованных новообразованиях.

Наблюдается утяжеление изотопного состава углерода от внутренних более древних кутан к внешним (диапазон изменений 0,5-0,8‰), что говорит о дифференциации фитоценологических условий их формирования, а также различном составе углекислого газа в почвенном воздухе. Изотопный состав кислорода кутан наоборот облегчается со внутренних кутан к внешним, более молодым (0,4-0,9‰), подобный тренд в Южной Сибири ранее отмечен не был. $\delta^{13}\text{C}$ карбонатных кутан палевого и иллювиально-карбонатного горизонтов значительно различаются, для более высоко залегающих карбонатов (залегающих в палевом горизонте BPL) характерны более положительные значения $\delta^{13}\text{C}$, что может говорить о многостадийности формирования карбонатного профиля исследованных криоаридных почв.

Авторы выражают благодарность Е.В.Терской, Л.В.Добрыдневой, Н.А.Буданцевой, Ю.Н.Чижовой за помощь в проведении химико-аналитических работ. Химико-аналитические работы и анализ данных выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 14-27-00083).

Библиография

1. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1976. 248 с.
2. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
3. Волковинцер В.И. Степные криоаридные почвы. Новосибирск: из-во Наука, Сибирское отделение. 1978. 206 с.
4. Гидрогеология СССР. Том XVIII. Красноярский край и Тувинская АССР. М.: Недра, 1972. 479 с.
5. Голубцов В.А., Черкашина А.А. Генезис карбонатных натёков в четвертичных отложениях Южного Прибайкалья // География и природные ресурсы. 2014. № 2. С. 62–70.
6. Голубцов В.А., Черкашина А. А., Пустовойтов К. Е., Штар К. Стабильные изотопы углерода и кислорода педогенных карбонатных кутан в чернозёмах южного Прибайкалья как индикаторы локальных экологических изменений // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1215–1227.
7. Гончарова О.Ю., Криоаридные почвы юго-восточного Алтая: Автореф. дис. ... канд. биол. наук : 3.00.27. М., 1997. 26 с.
8. Гусев А.И. Постколлизийные и анорогенные гранитоиды Алтая. М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2013. 142 с.
9. Классификация и диагностика почв России / Авт. и сост.: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Отв. ред. Г.В. Добровольский. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
10. Лебедева М.П., Герасимова М.И., Голованов Д.Л., Ямнова И.А. Крайнеаридные почвы Илийской Котловины // Почвоведение. 2015. № 1. С. 14–30.
11. Михайлов Н.Н. «Озёрный период» на Юго-Восточном Алтае // География и природопользование Сибири. Барнаул: Издательство Алтайского Университета. 2001. Вып. 4. С. 143–153.
12. Носин В.А. Почвы Тувы. Изд-во академии наук СССР. М., 1963. 341 с.
13. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 768 с.
14. Петров Б.Ф. Почвы Алтайско-Саянской области. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1952. 247 с.
15. Почвы Горно-Алтайской автономной области / Под ред. Ковалева Р.В. – Новосибирск: Из-во наука, сибирское отделение. 1973. 351 с.
16. Пустовойтов К.Е., Таргульян В.О. Кутаны иллювиирования на щебне как источник педогенетической информации // Почвоведение. 1996. № 3. С. 335–347.
17. Смоленцева Е.Н. Криоаридные почвы Чуйской котловины Горного Алтая и проблемы их использования // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее: материалы Междунар. конф. (Горно-Алтайск, 22-26 сент. 2008 г.). Горно-Алтайск. 2008. Ч. 2. С. 275–280.
18. Сушкин П.П. Птицы Советского Алтая и прилегающих частей Северо-Западной Монголии. М., 1938. Т. 1. 316 с.
19. Bronnikova M.A., Agatova A.R., Cherkinskiy A.E., Shorkunov I.G., Turova I.V. Calcareous and humus-containing pendants as a proxy of Holocene environmental changes in mountains of the South Siberia // XIII International Symposium and Field Workshop on Paleopedology. 1-6 September, Torun, Poland. Program and Abstracts. Torun. 2014. P. 14– 15.
20. Blyaharchk T.A, Wright H.E. Borodavko P.S. van der Knaap W.O., Ammann B. Late Glacial and Holocene vegetational history of the Altai Mountains (southwestern Tuva Republic, Siberia) // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2007. Vol. 245. P. 518–534.
21. Cherkinskiy A., Bronnikova M., Turova I. 14C variation in layered coatings of soils as a proxy of Holocene environmental changes in mountains of the South Siberia // Radiocarbon in the Environment Conference 2014, 18-22 August 2014. Queen's University, Belfast. Book of abstracts. Belfast. 2014. P. 81.
22. Cerling T.E. The stable isotopic composition of modern soil carbonate and its relationship to climate // Earth and Planetary Science Letters. 1984. № 71. P. 229–240.
23. Cerling, T.E., and Quade, J., 1993, Stable carbon and oxygen isotopes in soil carbonates, in Swart, P., McKenzie, J.A., and Lohmann, K.C., eds., Continental indicators of climate, Proceedings of Chapman Conference: Jackson Hole, Wyoming, American Geophysical Union Geophysical Monograph 78, p. 217–231.
24. Dworkin S.I., Nordt L., Atchley S. Determining terrestrial paleotemperatures using the oxygen isotopic composition of pedogenic carbonate // Earth and Planetary Science Letters. 2005. Vol. 237. P. 56–68.

25. Mann, D. H., Sletten, R. S. & Ugolini, F.C. Soil development at Kongsfjorden, Spitsbergen. // *Polar Research*. 1986. Vol. 4. P. 1–16.
26. Marion G.M. Verburg P.S.J., McDonald E.V., Arnone J.A. Modeling salt movement through a Mojave Desert soil // *Journal of Arid Environments*. 2008. Vol. 72. P. 1012–1033.
27. Pustovoytov, K. Pedogenic carbonate cutans as a record of the Holocene history of relic tundra-steppes of the Upper Kolyma Valley (North-Eastern Asia). // *Catena*. 1998. Vol. 34. P. 185–195.
28. Pustovoytov K.E., Pedogenic carbonate cutans on clasts in soils as a record of history of grassland ecosystems // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2002. № 177. P. 199–214.
29. Pustovoytov K., Schmidt K., Taubald H., Evidence for Holocene environmental changes in the northern Fertile Crescent provided by pedogenic carbonate coatings // *Quaternary Research*. 2007. № 67. P. 315–327.
30. Sheldon N.D., Tabor N.J. Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols // *Earth-Science Reviews*. 2009. V. 95. P. 1–52.
31. Tedrow, J.C.F.: Development of Polar Desert soil // *Quaternary Soils. Geo. Abstracts*. 1978. P. 413–425.
32. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C. Ice-wedge formation in Northern Asia during the Holocene // *Permafrost and Periglacial Processes*. 1995. Vol.6. N3. P. 273–279.
33. Vasil'chuk Yu.K., Zaitsev V.N., Vasil'chuk A.C. A ¹⁴C-Dating and Oxygen-Isotope Diagram of a Holocene Reformed Ice Wedge on the Chara River (Transbaical Region) // *Transactions (Doklady) of the Russian Academy of Sciences. Earth Science Section*. 2006. Vol. 407. N2. P. 265–270.
34. Vogt T. Corte A.E. Secondary precipitates in Pleistocene and present cryogenic environments (Mendoza Precordillera, Argentina, Transbaikalia, Siberia, and Seymour Island, Antarctica) // *Sedimentology*. 1996. № 43. P. 53–64.

References (transliterated)

1. Beus A.A., Grabovskaya L.I., Tikhonova N.V. *Geokhimiya okruzhayushchei sredy*. M.: Nedra, 1976. 248 s.
2. Vinogradov A.P. Srednee sodержanie khimicheskikh elementov v glavnykh tipakh izverzhennykh porod zemnoi kory // *Geokhimiya*. 1962. № 7. S. 555–571.
3. Volkovintser V.I. *Stepnye krioaridnye pochvy*. Novosibirsk: iz-vo Nauka, Sibirskoe otdelenie. 1978. 206 s.
4. *Gidrogeologiya SSSR. Tom XVIII. Krasnoyarskii krai i Tuvinskaya ASSR*. M.: «Nedra», 1972. 479 s.
5. Golubtsov V.A., Cherkashina A.A. Genezis karbonatnykh natekov v chetvertichnykh otlozheniyakh Yuzhnogo Pribaikal'ya // *Geografiya i prirodnye resursy*. 2014. № 2. S. 62–70.
6. Golubtsov V.A., Cherkashina A. A., Pustovoitov K. E., Shtar K. Stabil'nye izotopy ugleroda i kisloroda pedogennykh karbonatnykh kutan v chernozemakh yuzhnogo Pribaikal'ya kak indikatory lokal'nykh ekologicheskikh izmenenii // *Pochvovedenie*. 2014. № 10. S. 1215–1227.
7. Goncharova O.Yu., *Krioaridnye pochvy yugo-vostochnogo Altaya: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* : 3.00.27. M., 1997. 26 s.
8. Gusev A.I. *Postkollizionnye i anorogennye granitoidy Altaya*. M.: Izdatel'skii dom Akademii Estestvoznaniya, 2013. 142 s.
9. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii / Avt. i sost.: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimova. Otv. red. G.V. Dobrovolskii*. Smolensk: Oikumena, 2004. 342 s.
10. Lebedeva M.P., Gerasimova M.I., Golovanov D.L., Yamnova I.A. Krainearidnye pochvy Iliiskoi Kotloviny // *Pochvovedenie*. 2015. № 1. S. 14–30.
11. Mikhailov N.N. «Ozernyi period» na Yugo-Vostochnom Altae // *Geografiya i prirodopol'zovanie Sibiri*. Barnaul: Izdatel'stvo Altaiskogo Universiteta. 2001. Vyp. 4. S. 143–153.
12. Nosin V.A. *Pochvy Tuvy*. Izd-vo akademii nauk SSSR. M., 1963. 341 s.
13. Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta*. M.: Astreya-2000, 1999. 768 s.
14. Petrov B.F. *Pochvy Altaisko-Sayanskoi oblasti*. M.: Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, 1952. 247 s.
15. *Pochvy Gorno-Altaiskoi avtonomnoi oblasti / Pod red. Kovaleva R.V.* – Novosibirsk: Iz-vo nauka, sibirskoe otdelenie. 1973. 351 s.
16. Pustovoitov K.E., Targul'yan V.O. Kutany illyuvirovaniya na shchebne kak istochnik pedogeneticheskoi informatsii // *Pochvovedenie*. 1996. № 3. S. 335–347.
17. Smolentseva E.N. Krioaridnye pochvy Chuiskoi kotloviny Gornogo Altaya i problemy ikh ispol'zovaniya // *Bioraznoobrazie, problemy ekologii Gornogo Altaya i sopredel'nykh regionov:*

- nastoyashchee, proshloe, budushchee: materialy Mezhdunar. konf. (Gorno-Altaysk, 22-26 sent. 2008 g.). Gorno-Altaysk. 2008. Ch. 2. S. 275–280.
18. Sushkin P.P. Ptitsy Sovetskogo Altaya i prilegayushchikh chastei Severo-Zapadnoi Mongolii. M., 1938. T. 1. 316 s.
 19. Bronnikova M.A., Agatova A.R., Cherkinskiy A.E., Shorkunov I.G., Turova I.V. Calcareous and humus-containing pendants as a proxy of Holocene environmental changes in mountains of the South Siberia // XIII International Symposium and Field Workshop on Paleopedology. 1-6 September, Torun, Poland. Program and Abstracts. Torun. 2014. P. 14– 15.
 20. Blyaharchk T.A, Wright H.E. Borodavko P.S. van der Knaap W.O., Ammann B. Late Glacial and Holocene vegetational history of the Altai Mountains (southwestern Tuva Republic, Siberia) // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2007. Vol. 245. P. 518–534.
 21. Cherkinsky A., Bronnikova M., Turova I. 14C variation in layered coatings of soils as a proxy of Holocene environmental changes in mountains of the South Siberia // Radiocarbon in the Environment Conference 2014, 18-22 August 2014. Queen's University, Belfast. Book of abstracts. Belfast. 2014. P. 81.
 22. Cerling T.E. The stable isotopic composition of modern soil carbonate and its relationship to climate // Earth and Planetary Science Letters. 1984. № 71. R. 229–240.
 23. Cerling, T.E., and Quade, J., 1993, Stable carbon and oxygen isotopes in soil carbonates, in Swart, P., McKenzie, J.A., and Lohmann, K.C., eds., Continental indicators of climate, Proceedings of Chapman Conference: Jackson Hole, Wyoming, American Geophysical Union Geophysical Monograph 78, p. 217–231.
 24. Dworkin S.I., Nordt L., Atchley S. Determining terrestrial paleotemperatures using the oxygen isotopic composition of pedogenic carbonate // Earth and Planetary Science Letters. 2005. Vol. 237. P. 56–68.
 25. Mann, D. H., Sletten, R. S. & Ugolini, F.C. Soil development at Kongsfjorden, Spitsbergen. // Polar Research. 1986. Vol. 4. P. 1–16.
 26. Marion G.M. Verburg P.S.J., McDonald E.V., Arnone J.A. Modeling salt movement through a Mojave Desert soil // Journal of Arid Environments. 2008. Vol. 72. P. 1012–1033.
 27. Pustovoytov, K. Pedogenic carbonate cutans as a record of the Holocene history of relic tundra-steppes of the Upper Kolyma Valley (North-Eastern Asia). // Catena. 1998. Vol. 34. P. 185–195.
 28. Pustovoytov K.E., Pedogenic carbonate cutans on clasts in soils as a record of history of grassland ecosystems // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2002. № 177. P. 199–214.
 29. Pustovoytov K., Schmidt K., Taubald H., Evidence for Holocene environmental changes in the northern Fertile Crescent provided by pedogenic carbonate coatings // Quaternary Research. 2007. № 67. P. 315–327.
 30. Sheldon N.D., Tabor N.J. Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols // Earth-Science Reviews. 2009. V. 95. R. 1–52.
 31. Tedrow, J.C.F.: Development of Polar Desert soil // Quaternary Soils. Geo. Abstracts. 1978. P. 413– 425.
 32. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C. Ice-wedge formation in Northern Asia during the Holocene // Permafrost and Periglacial Processes. 1995. Vol.6. N3. P. 273–279.
 33. Vasil'chuk Yu.K., Zaitsev V.N., Vasil'chuk A.C. A ¹⁴C-Dating and Oxygen-Isotope Diagram of a Holocene Reformed Ice Wedge on the Chara River (Transbaikalia Region) // Transactions (Doklady) of the Russian Academy of Sciences. Earth Science Section. 2006. Vol. 407. N2. P. 265–270.
 34. Vogt T. Corte A.E. Secondary precipitates in Pleistocene and present cryogenic environments (Mendoza Precordillera, Argentina, Transbaikalia, Siberia, and Seymour Island, Antarctica) // Sedimentology. 1996. № 43. R. 53–64.