



УДК 502.52:550.4(571.53, 282.256.341)
DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.90>

Химический состав почв предгорных степей острова Ольхон

В. А. Пеллинен, С. И. Штельмах, Т. Ю. Черкашина

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск

Аннотация. Исследование почвенного покрова, подвергающегося антропогенной нагрузке, является важным аспектом для понимания происходящих в нем геохимических процессов. В настоящей работе изучен химический состав верхнего горизонта почв предгорных сухих степей Прибайкалья (оз. Байкал, о. Ольхон) с целью установления их геохимических особенностей в зависимости от гранулометрического состава. Исследованы водные и солянокислые вытяжки почв с применением объемного оксалатного и фосфатного методов. Для определения концентраций F, S_{общ.}, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Pb, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Ce, Nd в почвах использован метод рентгенофлуоресцентного анализа. Выделены среднесуглинистая, легкосуглинистая и супесчаная разновидности степных почв. Определено, что исследованные почвы в основном относятся к слабокарбонатным незасоленным почвам, однако в среднесуглинистой выявлена слабая степень сульфатного (гипсового) засоления. Изучено площадное распределение химических элементов, и отмечена связь с их гранулометрическим составом. Выявлена закономерность распределения тяжелых металлов и фтора в исследуемых почвах. Установлен невысокий уровень загрязнения почв о. Ольхон фтором и Pb, V, Zn.

Ключевые слова: почвы, степной ландшафт, физико-химические свойства почв, рентгенофлуоресцентный анализ.

Для цитирования: Пеллинен В. А., Штельмах С. И., Черкашина Т. Ю. Химический состав почв предгорных степей острова Ольхон // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2019. Т. 27. С. 90–110. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.90>

Введение

Основным компонентом природной среды, несущим в себе долговременную информацию о поведении химических элементов, определяемым составом почвообразующих пород, рельефом местности, климатом и техногенным воздействием, является почва, которая одновременно выступает главным физико-химическим барьером на пути миграции тяжелых металлов [Ильин, 1991; Кузьмин, 2005]. Большое разнообразие природных ландшафтов характерно в целом для всего Прибайкалья. Наибольший интерес в их изучении представляют ландшафты, на которых формируются степные почвы. Недостаток атмосферного увлажнения и высокая водопроницаемость у почв предгорных сухих степей Прибайкалья снижают их биопродуктивность [Почвы бассейна озера Байкал ... , 2018].

Антропогенное влияние на почвенный покров в различных районах мира, приводящее к изменению их физико-химических и биологических свойств, рассмотрено в работах [Heavy metal distribution ... , 2009; Heavy metal speciation ... , 2013; Trace metal pollution ... , 2014; Influence of oil contamination ... , 2015]. Такое изменение может проявляться в течение длительного времени, при этом будет существенно колебаться химический состав почв, а именно содержание токсичных элементов и тяжелых металлов.

Антропогенная нагрузка на почвенный покров о. Ольхон активизировала определенный тип экзогенных геологических процессов, которые проявляются в образовании мелких и крупных оврагов на склонах. Наряду с этим данные территории подвержены загрязнению почв различными бытовыми отходами, содержащими тяжелые металлы, что приводит к изменению их химического состава и физико-химических свойств, а также образованию патогенной микрофлоры и энтомофауны, повреждающей хвойные деревья, различные растения и особенно эндемичные их виды. Негативное влияние на здоровье человека оказывается в результате присутствия в почве различных соединений тяжелых металлов, мигрирующих вместе с током почвенной влаги, которое с течением времени может стать причиной загрязнения подземных вод и почв в пониженных элементах рельефа, а также береговой зоны оз. Байкал [Ильин, 1991]. Таким образом, изучение почвенного покрова, подвергающегося антропогенной нагрузке, очень важно для понимания происходящих в нем геохимических процессов [Multielemental analysis of ... , 2017].

Предлагаемая авторами статья является частью исследования, посвященного изучению эколого-геохимического состояния горно-степных ландшафтов Приольхонья, испытывающих современные антропогенные нагрузки. Цель исследования – изучение химического состава степных почв при помощи метода рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и установление их геохимических особенностей в зависимости от гранулометрического состава.

Объекты исследования

Территория вокруг Байкала на протяжении длительного времени испытывает антропогенные нагрузки, вызванные ведением домашнего хозяйства, сельскохозяйственной и в большей мере туристической деятельностью, особенно на о. Ольхон. Индикатором, свидетельствующим о нарушении экологического равновесия окружающей среды, является верхний горизонт почв.

В 2015 г. было проведено районирование почв бассейна оз. Байкал [Belozertseva, Dorygotov, Sorokovoy, 2015], согласно которому территория исследования входит в предгорный и низкогорный округ о. Ольхон и Приольхонья. Согласно карте «Почвы бассейна озера Байкал» масштаба 1:2 500 000 [Карта: Почвы бассейна ... , 2015] на территории о. Ольхон выделены три типа почв: горные темно-каштановые маломощные щебнистые, каштановые (Kastanozems) под степной растительностью и дерново-подбуры (Retisols) под лесной растительностью. Встречаются каштановид-

ные, черноземы, серые лесные и засоленные почвы [Почвы бассейна озера Байкал ... , 2018; Лопатовская, Максимова, Хадеева, 2017]. В соответствии с указанной выше картой ключевые участки района исследования относятся к распространению каштановых почв (Kastanozems) (рис. 1). Согласно Единому государственному реестру почвенных ресурсов России [Единый государственный реестр ... , 2014] исследуемые почвы, предположительно, относятся к разделу каштановых почв. В соответствии с Мировой реферативной базой почвенных ресурсов [World Reference Base ... , 2014] каштановые степные почвы являются Kastanozems.

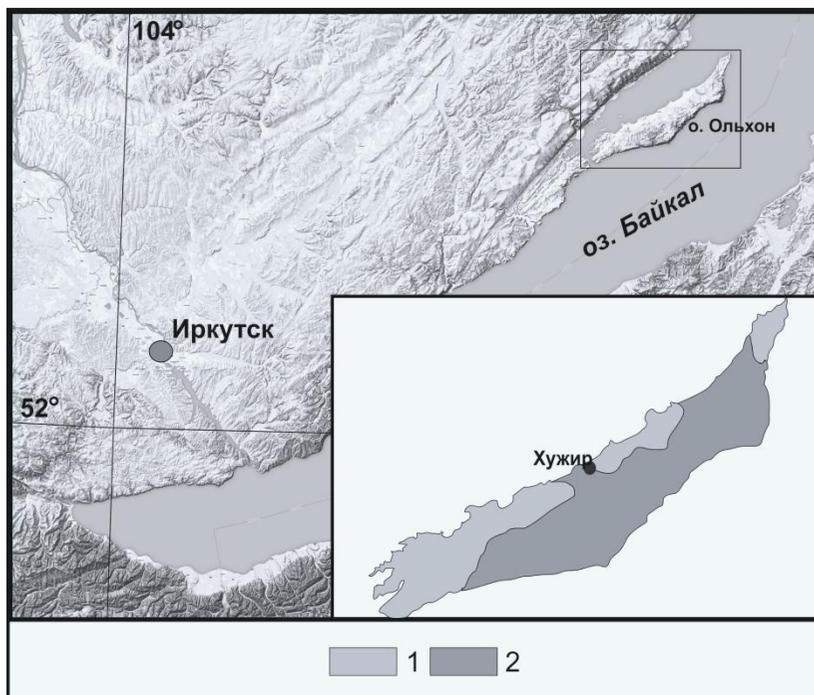


Рис. 1. Обзорная карта района исследования. Ландшафты: 1 – со степной растительностью; 2 – с лесной растительностью

Таким образом, в качестве объекта исследования выбран верхний горизонт (0–20 см) почв предгорных сухих степей о. Ольхон, формирующихся на пролювии и делювии магматических и метаморфических горных пород, распространенных в пределах лугово-степных ландшафтов острова (см. рис. 1).

Почвенный покров о. Ольхон формируется главным образом на кристаллических и метаморфических породах раннепалеозойского возраста и на незначительных по площади участках нормально-осадочных отложений неогенового и четвертичного периода [Reprint of “Pre-collisional ... , 2017].

Исследуемые почвы, согласно используемой в работе карте [Почвы бассейна озера Байкал ... , 2018], локализованы на о. Ольхон и территориально находятся между населенными пунктами Харанцы и Халгай (рис. 2). В геологическом отношении на этом участке почвенный покров располага-

ется в зоне контакта пород Эрэнхэйского комплекса, представленного перидотитами, габбро, пироксенитами, прорывающих породы Чернорудской свиты, сложенной мраморами и амфиболитами [Reprint of “Pre-collisional ...”, 2017].

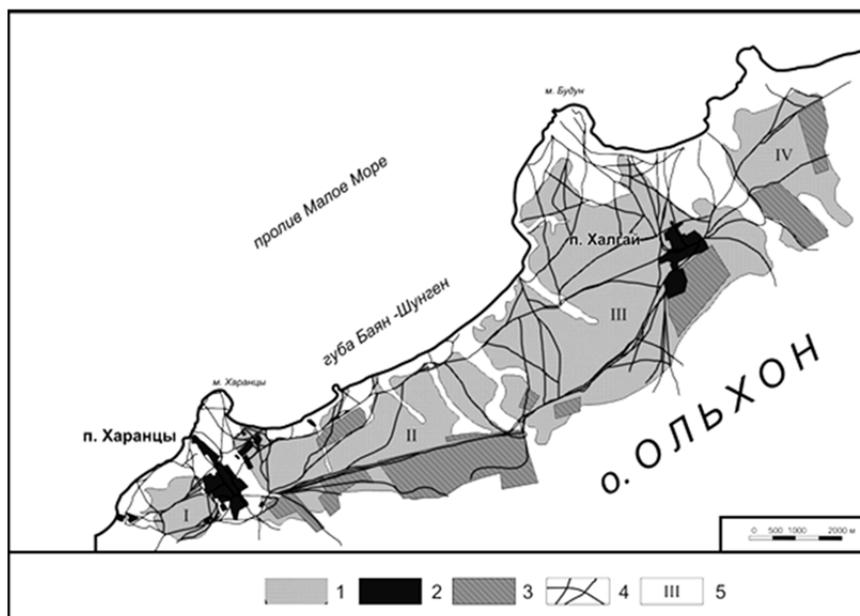


Рис. 2. Карта участка исследования. 1 – территории распространения степных почв; 2 – поселковые территории; 3 – бывшие (заброшенные) территории сельскохозяйственного назначения; 4 – современная сеть временных дорог; 5 – области опробования

По гранулометрическому составу исследуемые почвы изменяются от песчаных до тяжелосуглинистых с преобладанием легко- и среднесуглинистых. Характерное для степных почв острова содержание гумуса не превышает 5 %, и наблюдается быстрое его снижение с глубиной [Кузьмин, 2005]. Значения pH изменяются от 5,1 до 7,0. Особенностью этих почв острова является накопление в них Fe и элементов его группы (V, Co, Cr, Cu, Ni). По данным [Кузьмин, 2005], на о. Ольхон выделяются каштановые почвы, как обогащенные Fe (более 5–6 %), так и обедненные им (1,5–3,4 %). Концентрации V, Co, Cr, Cu, Ni в среднем выше кларка литосферы [Виноградов, 1957], но также отмечаются пониженные концентрации этих элементов, близкие к фоновым (11–44 мг/кг) [Кузьмин, 2005].

Основным фактором формирования климатического фона исследуемой территории района, как и всего Прибайкалья, является четко выраженная смена системы циркуляции атмосферы в теплый и холодный периоды, а также повышенный приток солнечной радиации к деятельной поверхности. В теплый период года температура воздуха на острове понижена, а осенью и зимой, наоборот, повышена; абсолютные годовые минимумы температуры воздуха меняются в пределах от –40 до –55 °С, абсолютные максимумы – от

+30 до +40 °С. Безморозный период составляет 4,0–4,5 мес. Вегетационный период (со средними суточными температурами воздуха выше +5 °С) на большей части района продолжается 4 мес. Годовое количество атмосферных осадков составляет 200–300 мм, что является абсолютным годовым минимумом для всего побережья Байкала. Около двух третей этой суммы влаги выпадает за три летних месяца (июнь – август). В январе – марте месячное количество осадков не превышает 5 мм, поэтому снежный покров в этих районах обычно не более 10–15 см. По данным наблюдения за температурным режимом грунтов на острове, промерзание пород начинается в ноябре и продолжается до начала мая. Протаивание мерзлых грунтов на склонах южной экспозиции начинается в апреле, на северных склонах – в середине мая. Интенсивное протаивание грунтов происходит в июле – августе [Светлаков, Козырева, Рыбченко, 2014].

Несмотря на сложные климатические условия, степные почвы о. Ольхон ранее испытывали максимальные нагрузки от сельскохозяйственной деятельности и использовались преимущественно для выпаса скота и посева кормовых культур. Для этого были проведены мероприятия по улучшению качества почв за счет их искусственного увлажнения (мелиорации) [Зацепин, Кобиляцкая, Мутасова, 2004]. В настоящее время большая часть этих территорий заброшена. Однако современная техногенная нагрузка в пределах некоторых полей проявляется в виде организации временных дорог, что привело к частичной деградации верхнего гумусового слоя и уничтожению растительности на некоторых участках.

Методы исследования

Отбор образцов почв проводился классическим методом «конверта», сеть опробования составили участки 1×1 км. Поскольку большая часть фтора (F) и тяжелых металлов (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb) в почвах сосредотачивается в верхних горизонтах [Ильин, 1991; Кузьмин, 2005], отбор проб был проведен с глубины 0–20 см. Было отобрано около 200 образцов почв. После опробования материал сохраняли в естественно-влажном состоянии, затем сушили до воздушно-сухого состояния в лабораторных условиях, чтобы избежать потерь химически неустойчивых и летучих элементов и их соединений. Затем из общего числа образцов после проведения гранулометрического анализа была выделена представительная группа образцов в количестве 45 штук.

Для определения концентраций породообразующих оксидов Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, K₂O, CaO, TiO₂, MnO, Fe₂O_{3(общ)}, а также редких и рассеянных элементов, таких как F, S_{общ}, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Pb, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Ce, Nd, в почвах использовали метод рентгенофлуоресцентного анализа. Это экспрессный высокочувствительный неdestructивный метод, широко применяемый в геохимии и геологии для определения элементного состава вещества в широком диапазоне концентраций [Jones, Wilson, 1991; Kramar, 1997; Elemental characterization of ... , 2014; Analytical approaches for ... , 2016; Cherkashina, Shtel'makh, Pashkova, 2017;]. Измере-

ния в почвах выполнены при помощи волнодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра S8 TIGER (Bruker AXS, Германия) на базе Центра коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН. Технические характеристики прибора, условия и параметры определения некоторых элементов изложены в [Service Manual ... , 2007]. Расчет концентраций элементов проводили с применением программного обеспечения спектрометра SPECTRA^{plus} [SPECTRA^{plus} ... , 2010].

Подготовку проб к анализу проводили следующим образом. Каждую пробу истирали вручную в агатовой ступке до порошкообразного состояния в течение 1 часа. Порошки проб прессовали с помощью полуавтоматического пресса HERZOG НТР 40 (Германия), придавая им вид таблеток диаметром 40 мм на подложке из борной кислоты, при усилии в 100 кН. Контроль качества измерений проводили при помощи набора сертифицированных стандартных образцов почв и осадочных отложений различного химического состава [Govindaraju, 1994].

Гранулометрический состав образцов определяли методом пипетки в модификации Н. А. Качинского [Качинский, 1965], который основан на скорости падения частиц разного размера в воде. Согласно классификации, принятой в грунтоведении [Рященко, 2010], проведено определение шести фракций: 0,50–0,25 мм (крупно-среднепесчаная, M_{nc}^1); 0,25–0,05 мм (мелко-тонкопесчаная, M_{nc}^2); 0,05–0,01 мм (крупнопылеватая, M_n^1); 0,010–0,002 мм (мелкопылеватая, M_n^2); 0,002–0,001 мм (грубоглинистая, M_c^1); < 0,001 мм (тонкоглинистая, M_c^2). Существуют некоторые отличия данной классификации от классификации, принятой в почвоведении [Геннадиев, Глазовская, 2008], а именно: фракция 0,25–0,05 мм называется «мелкопесчаная», фракция 0,002–0,001 мм входит в диапазон 0,005–0,001 мм мелкопылеватой фракции, тонкоглинистая фракция < 0,001 мм в почвоведении называется илистой и имеет такой же размер частиц. Каждый образец подготовлен к анализу тремя способами (брали по три навески каждой пробы): агрегатным – размачивание в воде; полудисперсным (стандартным) – замачивание и кипячение с добавлением аммиака; дисперсным – замачивание и кипячение с пирофосфатом натрия. Для почв и глинистых отложений наиболее приемлемыми являются результаты гранулометрического анализа с полудисперсным способом подготовки [Рященко, 2010]. Исследованы водные и солянокислые вытяжки из отобранных образцов почв. Состав карбонатных солей, общее содержание карбонатов ($S_{кп}$) и общее содержание водорастворимых солей ($S_{сп}$) в образцах были определены по стандартным методикам, описанным в [Аринушкина, 1970]. Концентрации $CaCO_3$, $MgCO_3$ и $FeCO_3$ были рассчитаны по полученным содержаниям CaO , MgO и Fe_2O_3 из солянокислой вытяжки исследуемых почв. Определение концентрации CaO было проведено объемным оксалатным методом, содержания MgO – весовым фосфатным методом. Выполнено колориметрическое определение Fe_2O_3 сульфосалициловым методом в аликвотной части солянокислого фильтрата от SiO_2 .

Концентрации гумуса установлены методом И. В. Тюрина [Аринушкина, 1970]. Определение состава обменных катионов и емкости катионного обмена (ЕКО, смоль(экв)/кг почвы) выполнено методом адсорбции метиленового голубого в водном растворе. Значения рН образцов почв выявлены в водной вытяжке потенциометрическим методом с помощью иономера ЭВ-74, поскольку при определении рН в суспензии возникают трудности, связанные с необходимостью устранения влияния диффузионного потенциала.

Результаты и обсуждение

Верхние органоминеральные горизонты почв (от 0 до 20 см) о. Ольхон характеризуются легким и средним гранулометрическим составом. Содержание в них крупно-среднепесчаной, мелко-тонкопесчаной и крупнопылеватой фракций составляет от 64,6 до 82,2 %. По содержанию физической глины (частиц < 0,01 мм), согласно детальной классификации [Качинский, 1965], выделены три разновидности исследуемых почв: среднесуглинистая, легкосуглинистая и супесчаная.

Гранулометрический состав почв обуславливается их химическим составом, а также зависит от характера почвообразующего материала (материнских пород) [Почвоведение, 1988]. Супесчаные почвы характеризуются высокой водопроницаемостью, низкой влагоемкостью, отсутствием структурных агрегатов, низкой емкостью катионного обмена и поглотительной способностью. Преимуществом этих почв является рыхлое сложение, хорошая воздухопроницаемость и быстрая прогреваемость, что положительно сказывается на обеспечении кислородом корневых систем растений. В гранулометрическом составе преобладают крупные фракции. Легко- и среднесуглинистые почвы отличаются высокой воздухо- и водопроницаемостью, хорошо задерживают влагу, быстро и равномерногреваются с наступлением тепла, и в них благодаря сбалансированному увлажнению поддерживается постоянный температурный режим. Отметим, что суглинистые почвы характеризуются более высокими значениями ЕКО, чем супесчаные. Так, в среднесуглинистой разновидности изученных почв значение ЕКО составило 78,60 смоль(экв)/кг, а в супесчаной – 31,44 смоль(экв)/кг. Большое влияние на плодородие почв, а также на ряд их физико-химических свойств оказывает содержание гумуса [Почвоведение, 1988]. Содержание гумуса в почвах изменяется в узких пределах: от 4,5 в легкосуглинистой до 5,3 % в супесчаной разновидности. В работе В. А. Кузьмина [Кузьмин, 2005] указана концентрация почвенного гумуса в поверхностном горизонте в пределах степных ландшафтов 5,3 %. Такой уровень концентрации (до 5,3 %) гумуса, несмотря на сухой климат острова и постоянные ветра, способствующие выносу гумуса в результате процессов эрозии из верхних горизонтов почв [Знаменская, Вантеева, Солодянкина, 2018], обусловлен внесением удобрений и мелиоративными мероприятиями, проводимыми на данной территории с 1955 по 1980 г. [Зацепин, Кобиляцкая, Мутасова, 2004].

Значения параметра $S_{кр}$ находятся в диапазоне 6,68–8,98 %. Среди карбонатных солей в образцах преобладают $CaCO_3$ (2,50–3,99 %), $FeCO_3$ (3,59–

4,99 %) и в небольших количествах встречается $MgCO_3$ (менее 1 %). Согласно классификации [Глазовская, 1981] исследуемые почвы относятся к слабокарбонатным, что также подтверждается полученными значениями реакции среды (рН) водной вытяжки, которые изменяются от слабокислой (6,8) до слабощелочной (7,3). В почвах со слабокислой, нейтральной и слабощелочной реакцией среды состав обменных катионов, как правило, благоприятен для большинства сельскохозяйственных культур.

Общее содержание водорастворимых солей (S_{ep}) в почвах находится в диапазоне от 0,12 в супесчаной почве до 0,26 % в среднесуглинистой. В результате проведенных расчетов по данным водной вытяжки была выявлена слабая степень засоления среднесуглинистой почвы в соответствии с классификацией [Панкова, Воробьева, 2006]. Тип засоления этой почвы – сульфатный (гипсовый), поскольку значение отношения анионов Cl^-/SO_4^{2-} составляет 0,44 ($< 0,5$). Легкосуглинистая и супесчаная почвы являются незасоленными, так как общие содержания токсичных ($Mg(HCO_3)_2$, $MgSO_4$, $MgCl_2$, Na_2SO_4 , $NaCl$) и всех водорастворимых солей не превышают установленного порога токсичности согласно классификации [Панкова, Воробьева, 2006].

Несмотря на различия в гранулометрическом составе и физико-химических свойствах, все изученные образцы относятся к слабокарбонатным, однако в среднесуглинистой почве выявлена слабая степень сульфатного (гипсового) засоления, а легкосуглинистая и супесчаная почвы являются незасоленными. В целом все изученные почвы обладают положительным потенциалом [Рященко, 2010], связанным с достаточным содержанием гумуса, оптимальным составом обменных катионов, а также благоприятными значениями рН, которые оказывают влияние на поведение различных химических элементов в почвенных растворах.

Немаловажное значение для процесса почвообразования имеет химический состав почв. Гранулометрические особенности почв влияют на уровень содержания почвообразующих элементов и тяжелых металлов [Ильин, 1991]. При изучении порообразующих компонентов (Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , K_2O , CaO , TiO_2 , MnO , $Fe_2O_{3(общ)}$ и $S_{общ}$) в данных разновидностях почв выявлено следующее. В степных почвах содержание SiO_2 увеличивается от 51,55 в среднесуглинистой до 57,36 % в супесчаной разновидности. Это связано с тем, что крупные песчаные фракции (0,50–0,05 мм) обогащены кварцем и полевыми шпатами, последние, в свою очередь, являются источником щелочных элементов (Na и K). Более высокие концентрации $Fe_2O_{3(общ)}$ (7,64 %), MgO (1,78 %) и TiO_2 (1,16 %) установлены в среднесуглинистой разновидности с преобладанием грубоглинистой (0,002–0,001 мм) и тонкоглинистой (илистой) ($< 0,001$ мм) фракций, а минимальные концентрации этих почвообразующих оксидов присутствуют в супесчаной разновидности с преобладанием крупно-среднепесчаной (0,50–0,25 мм) и мелко-тонкопесчаной (мелкопесчаной) (0,25–0,05 мм) фракций. Содержания MnO варьируются в узких пределах (0,12–0,13 %), практически не изменяясь при переходе от одной разновидности к другой.

К общей химической особенности изученных почв относятся высокие содержания Al_2O_3 (13,49–17,71 %). При этом его максимальная концентрация (17,71 %) присутствует в среднесуглинистой разновидности почв, характеризующейся более высоким суммарным содержанием (20,70 %) грубоглинистой (0,002–0,001 мм) и тонкоглинистой (илистой) (< 0,001 мм) фракций. Алюминий входит в состав как первичных минералов (силлиманит, полевые шпаты, мусковит, биотит, эпидот) крупных фракций с размерами частиц более 0,05 мм, так и вторичных глинистых минералов (монтмориллонит, каолинит, иллит, хлорит). Содержание Al_2O_3 в монтмориллоните составляет 19,76 % [Microwave-Assisted Pillaring ... , 2017]. На приведенном примере можно увидеть взаимосвязь между концентрациями Al_2O_3 и содержаниями высокодисперсных глинистых фракций, минеральный состав которых в большей степени влияет на валовые содержания алюминия в исследуемых почвах.

Таким образом, во всех разновидностях степных почв с утяжелением гранулометрического состава, связанного с увеличением концентраций высокодисперсных глинистых фракций, происходит увеличение концентраций Al_2O_3 , $Fe_2O_{3(общ)}$, TiO_2 , MgO и уменьшение SiO_2 , CaO , P_2O_5 , Na_2O , K_2O и $S_{общ}$ от супесчаной к среднесуглинистой почве.

В работе изучено распределение микроэлементов (F, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Pb, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Ce, Nd) в исследуемых почвах и установлена его связь с их гранулометрическим составом. Так, супесчаная почва, обедненная глинистыми фракциями, характеризуется пониженными концентрациями V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Nb, Y, La, Ce и Nd по сравнению с более тяжелой среднесуглинистой разновидностью, в которой определены более высокие содержания V, Cr, Ni, Cu, Zn, Ga, Y, Ce и Nd. Это связано с высокой поглотительной способностью по отношению к различным химическим элементам глинистых минералов высокодисперсных фракций, для которых характерно повышенное содержание органического вещества [Dobrovolskii, 2001]. Интересен элемент галлий, который, как известно, является очень редким элементом земной коры и не образует собственных минералов, но может присутствовать в сфалерите, богатом железом, нефелине, бокситах (алюминиевых рудах). В исследуемых почвах о. Ольхон обнаружены слабоповышенные концентрации Ga, особенно в образцах более тяжелого гранулометрического состава (17 мг/кг). В них же зафиксированы повышенные концентрации $Fe_2O_{3(общ)}$ (7,64 %) и Al_2O_3 (17,71 %), тогда как среднее фоновое содержание галлия в почвах Прибайкалья составляет 10,2 мг/кг [Геохимия окружающей среды ... , 2008]. Вероятно, эти минеральные образования в небольшом количестве присутствуют в участках с повышенной концентрацией Ga.

Изученные почвы более легкого гранулометрического состава (легкосуглинистая и супесчаная), имеющие повышенные концентрации крупно-среднепесчаной и крупнопылевой фракций, характеризуются более высокими концентрациями Rb, Sr и Ba, в отличие от среднесуглинистой разновидности. Это связано с изоморфным замещением калия в щелочных полевых шпатах барием, стронцием и рубидием. Среднее фоновое содержание Zr в почвах Прибайкалья составляет 36,9 мг/кг. Во всех разновидностях степ-

ных почв острова содержание Zr слабоизменчиво и находится в диапазоне 90–115 мг/кг, что существенно выше значений средней концентрации, но не превышает его кларкового значения (170 мг/кг).

На распределение микроэлементов в почвах и некоторые их физико-химические свойства оказывают влияние $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{общ})$, MnO и CaCO_3 , последний определяет величину pH [Norrish, 1975]. Среднесуглинистые почвы обогащены $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{общ})$ (7,64 %) [Кузьмин, 2005]. С этим согласуется увеличение концентраций элементов группы железа – V, Cr, Co, Ni, Cu и Zn, как показано на примере кобальта (рис. 3, А). Величина достоверности аппроксимации (R^2) составила 0,9525.

В рамках исследования рассчитаны некоторые статистические параметры в соответствии с рекомендациями [Barwick, 2016]: минимальное (X_{\min}), максимальное (X_{\max}) и среднее (X_{cp}) значения концентраций определяемых элементов (мг/кг); стандартное (среднеквадратическое) отклонение (y); коэффициент вариации ($V_{\text{вар}}$). Расчеты проведены по 45 образцам различного гранулометрического состава, причем из каждой пробы брали по две навески. Количество измерений каждой навески составило порядка двух раз. Значение $V_{\text{вар}}$ рассчитывали из выражения: $V_{\text{вар}} = (y/X_{\text{cp}}) * 100$ %. По величине этого коэффициента выделяли элементы с наибольшим трендом (изменчивостью) их распределения ($V_{\text{вар}} > 30$ %). Выявлен относительно однородный характер площадного распределения содержания элементов в каштановых почвах – в большинстве случаев значения $V_{\text{вар}}$ составили менее 30 %. Выделены следующие группы элементов: Ni, Cu, Zn ($V_{\text{вар}} > 30$ %); Co, V, Cr, Y, Nb, La ($V_{\text{вар}} = 20$ –25 %); Rb, Zr, Ga, Ce, Nd, F ($V_{\text{вар}} = 12$ –17 %); Ba, Sr, Pb ($V_{\text{вар}} < 10$ %).

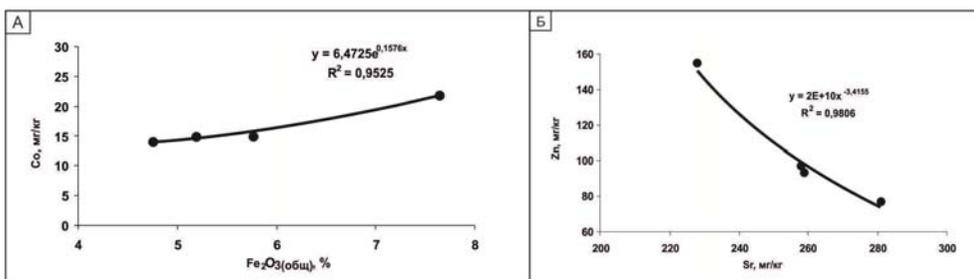


Рис. 3. Зависимости концентраций в степных почвах о. Ольхон: А – Co и $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{общ})$; Б – Zn и Sr

Максимальные содержания (мг/кг) выявлены для следующих компонентов: Ba (781), F (560), Sr (281), V (237); Zn (155), Cr (139), Zr (120). Концентрации Co, Ni, Cu, Ga, Pb, Rb, Y, Nb, La, Ce, Nd в образцах почв не превышают 100 мг/кг.

Для исследуемых почв была проведена статистическая обработка результатов РФА при помощи программы «Кластер-анализ» [Рященко, 2010], которая позволила выделить группы элементов и проанализировать корреляционные связи между ними.

Кластер-анализ *R*-типа показал сильные связи ($R = 0,98-1,00$) между Sr и Nd, V, Ce и La, Ni, Cu и Co, Zn и Y, Nb и Ga. Выделены три группы элементов: 1) Sr, Nd, V, Ce, La; 2) Ni, Cu, Co, Zn, Y, Nb, Ga, Pb; 3) Rb, S_{общ.}, Ba, Sr, Zr (рис. 4, А). Фтор занимает самостоятельное положение и имеет коэффициент, близкий к нулю, что указывает на отсутствие связи с глинистой составляющей почвы. По-видимому, он имеет иную петрохимическую природу и занесен в почву антропогенным путем. Между первой и второй группами зафиксирована сильная связь ($R = 0,85$), коэффициенты корреляции положительны и близки к 1,0 для всех элементов. Третья группа элементов связана с первыми двумя обратной связью ($R = -0,40-0,60$), т. е. имеет место взаимозаменяемость рассматриваемых компонентов. При этом с увеличением содержаний V, Co, Ni, Cu, Zn, La, Ce и Nd происходит уменьшение концентраций Sr и Ba, что определено экспериментальным путем для супесчаной почвы. На рисунке 3, Б в качестве примера представлена обратная зависимость между концентрациями Zn и Sr в исследуемых почвах.

К первой группе отнесли элементы, накапливающиеся в различных глинистых минералах почв. Среди них нередко присутствует группа хлоритов, которая включает четырехслойные алюмосиликаты, содержащие Fe, Mg, Cr, в некоторых случаях Ni [Дронова, Соколова, Толпешта, 2005]. В результате детального исследования микроэлементного состава фракций ($< 0,001$ мм) лессовых отложений Иркутска и тиксотропных глин, отобранных в районе Биробиджана, была установлена высокая степень обогащения этих фракций La, Ce и Nd, а выявленные содержания V и Cr были значительно меньше концентраций лантана, церия и неодима. Таким образом, аналогичная ситуация наблюдается и в исследуемых почвах.

Элементы второй группы тесно связаны с различными минералами железа в почвах, в том числе и рудными. Между этой группой и первой существует сильная корреляционная связь ($R = 0,85$), поскольку минералы оксидов и гидроксидов железа присутствуют в составе фракций ($< 0,001$ мм) почв [Дронова, Соколова, Толпешта, 2005]. Учитывая ряд химических свойств всех указанных элементов второй группы, можно предположить, что, по-видимому, в состав рудных минералов железа могут входить Y, Nb и Ga.

Третья группа элементов соотносится с первыми двумя обратной связью ($R = -0,40-0,60$), поскольку здесь преобладают типичные компоненты (Ba, Sr и Zr) в микроэлементном составе карбонатных и карбонатитоподобных пород, имеющих иную петрогенетическую природу. Связь серы с барием и рубидием в данной группе указывает на наличие BaSO₄, который не растворяется как в водной среде, так и в растворах разбавленной соляной кислоты. При этом рубидий, предположительно, изоморфно замещает барий, поскольку является очень рассеянным элементом, практически не образующим в природе собственных минералов.

Кластер-анализ *Q*-типа выявил две группы степных почв на основании определенных различий в их гранулометрическом, химическом и микроэлементном составе. Первая объединила пробы среднесуглинистой и легкосуглинистой разновидностей, распространенные во II и III областях и характе-

ризующиеся высокими средними значениями концентраций V, Cr, Ce, а также пониженными Ba, Sr и $S_{\text{общ}}$. Вторая группа выделила супесчаную и близкую к ней по микроэлементному составу легкосуглинистую почвы, которые распространены в I и IV областях (рис. 2; 4, Б).

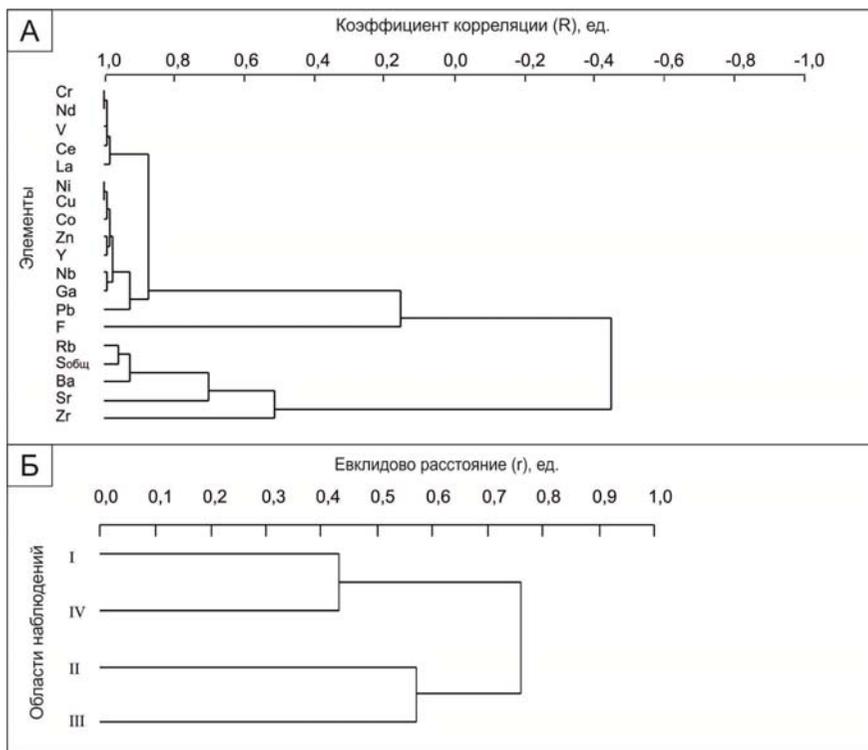


Рис. 4. Графики-дендрограммы кластерного анализа для степных почв о. Ольхон по результатам рентгенофлуоресцентного анализа: А – R-типа; Б – Q-типа

Выделенные по гранулометрическому составу легко- и среднесуглинистая и супесчаная почвы отличаются по уровню содержания тяжелых металлов. В среднесуглинистой почве тяжелые металлы находятся в большем количестве, чем в легкосуглинистой и супесчаной разновидностях, из-за отличий в концентрациях грубоглинистой (0,002–0,001 мм) и тонкоглинистой (илистой) (< 0,001 мм) фракций.

Таким образом, кластер-анализ R-типа позволил выявить корреляционные связи как между отдельными микроэлементами, так и между их группами, а также установить центры локализации определенных химических элементов. В свою очередь, кластер-анализ Q-типа, наряду с разделением исследуемых почв на группы, подтвердил установленные экспериментальным путем различия в свойствах и химическом составе изученных почв по показателям емкости катионного обмена ЕКО, общему содержанию водорастворимых солей, уровню концентраций определяемых компонентов, результатам гранулометрического анализа.

Особое внимание уделено распределению и накоплению F и тяжелых металлов (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb) в почвах. Основным показателем уровня загрязнения почв является коэффициент техногенной концентрации, или аномальности (K_a), как отношение концентрации элемента в пробе (C) к усредненному региональному фону (C_ϕ) ($K_a = C / C_\phi$). Рассчитанные значения K_a определяют последовательность накопления F и тяжелых металлов в почвах данного региона: F (2,9) > Pb (1,7) > V (1,6) > Zn (1,5) > Co (1,1) > Cr (1,0) > Cu (0,97) > Ni (0,92).

Для изучения особенностей распределения данных компонентов в изученных почвах и количественной оценки степени их загрязнения использована шкала, позволяющая сравнить эти показатели с местным геохимическим фоном [Дубровская, 2013]. Таким образом, уровень накопления F, Pb, V и Zn незначительно превышает региональный фон (1,5–3,0), что соответствует слабому загрязнению. Дополнительно проведено сопоставление средних концентраций F, V, Zn, Co, Cr, Cu, Ni и Pb со значениями регионального фона и предельно допустимых концентраций (ПДК) [Предельно допустимые концентрации ... , 2006; Геохимия окружающей среды ... , 2008].

Средняя концентрация фтора в почвах составляет 320 мг/кг, кларк 200 мг/кг [Виноградов, 1957], что превышает региональный фон (175 мг/кг) [Геохимия окружающей среды ... , 2008] почти в два раза ($K_a = 2,9$). Содержание F в почве и осадочных породах принято считать 500 мг/кг, критическим – 500–1300 мг/кг в глинах [Геохимия окружающей среды ... , 2008]. Согласно этим литературным данным содержание F (494–560 мг/кг) в исследуемых почвах находится на границе допустимого уровня. Повышенные концентрации фтора могут быть обусловлены реакцией среды (pH) водной вытяжки исследуемых почв. Повышенное содержание F в почвах может быть связано с накоплением в материнских породах. Другой причиной накопления фтора может быть использование на территории о. Ольхон фосфорных удобрений, которые послужили причиной существенного поступления F в почву.

Концентрации Pb в почвах изменяются в интервале от 18 в супесчаной до 20 мг/кг в среднесуглинистой, что незначительно превышает региональный фон (10 мг/кг) [Геохимия окружающей среды ... , 2008]. Согласно шкале [Дубровская, 2013] наблюдается слабый уровень загрязнения почв этим элементом ($K_a = 1,7$). В данном случае незначительные колебания концентраций свинца в изученных разновидностях почв, предположительно, обусловлены составом почвообразующих пород.

Региональный фон V и Zn в почвах Прибайкалья – 114 и 87 мг/кг [Геохимия окружающей среды ... , 2008], кларковое содержание – 100 и 50 мг/кг [Виноградов, 1957], ПДК – 150 и 110 [Геохимия окружающей среды ... , 2008] соответственно. Полученные концентрации V и Zn в образцах почв в целом превышают установленные значения для регионального фона и ПДК, что связано с их вхождением в состав коренных пород и утяжелением гранулометрического состава почв от супесчаной до среднесуглинистой разновидности.

Рассчитанные диапазоны концентраций для Cu, Ni, Cr и Co следующие (в мг/кг): 28–70, 30–74, 79–145, 11–22 соответственно. Полученные велици-

ны незначительно превышают кларковые содержания этих элементов в почвах [Виноградов, 1957], за исключением Cr, а также региональный фон [Геохимия окружающей среды ... , 2008]. Установленные значения ПДК для Cu и Ni – 55 и 85 мг/кг соответственно [Геохимия окружающей среды ... , 2008], что не превышает средних показателей их содержаний в почвах о. Ольхон. Отметим, что значения ПДК для валовых содержаний Cr и Co в почвах России не приняты, поэтому мы использовали величины, равные 64 и 40 мг/кг, установленные в [Canadian Council of ... , 2007] для почв Канады. Таким образом, среднее содержание Cr (106 мг/кг) в исследуемых почвах превышает установленную величину ПДК. Согласно [Геохимия окружающей среды ... , 2008] максимальные концентрации Cr в почвах Байкальского региона составляют от 400 до 1500 мг/кг, что существенно превышает полученное среднее значение, равное 106 мг/кг. Однако среднее содержание Cr в исследуемых почвах близко к среднему значению по Байкальскому региону – 100 мг/кг. Это характерно для почв степных ландшафтов региона [Геохимия окружающей среды ... , 2008].

Заключение

Авторами впервые изучен химический состав с помощью метода РФА и некоторые геохимические особенности степных почв о. Ольхон.

По результатам анализа гранулометрического состава почв ключевых участков о. Ольхон выделены три их разновидности: среднесуглинистая, легкосуглинистая и супесчаная. Для них определен состав карбонатных солей, общее содержание карбонатов, водорастворимых солей и гумуса, измерены значения pH водной вытяжки. Выявлено, что гранулометрический состав изученных почв обусловлен их химическим составом, а также зависит от характера почвообразующего материала. Отмечено, что, несмотря на различия в гранулометрическом составе и физико-химических свойствах, изученные образцы относятся к слабокарбонатным незасоленным почвам. Однако в среднесуглинистой почве установлена слабая степень сульфатного (гипсового) засоления, обладающая положительным потенциалом, связанным с повышенным содержанием гумуса и оптимальным составом обменных катионов, а также благоприятными значениями pH.

В работе показано, что немаловажное значение для процесса почвообразования имеет химический состав. Гранулометрические особенности степных почв влияют на уровень содержания в них почвообразующих элементов и тяжелых металлов. Во всех разновидностях изученных почв с утяжелением гранулометрического состава происходит увеличение концентраций Al_2O_3 , $Fe_2O_{3(общ)}$, TiO_2 , MgO и уменьшение SiO_2 , CaO, P_2O_5 , Na_2O , K_2O и $S_{общ}$ от супесчаной к среднесуглинистой разновидности.

Выявлен относительно однородный характер распределения микроэлементов ($V_{вар} < 30\%$). Выделены следующие группы элементов: Ni, Cu, Zn ($V_{вар} > 30\%$); Co, V, Cr, Y, Nb, La ($V_{вар} = 20\text{--}25\%$); Rb, Zr, Ga, Ce, Nd, F ($V_{вар} = 12\text{--}17\%$); Ba, Sr, Pb ($V_{вар} < 10\%$).

Обнаружена различная степень корреляции между определяемыми микроэлементами во всех разновидностях степных почв на основе графиков-дендрограмм кластеров R-типа. Кластер-анализ Q-типа позволил установить две группы степных почв на основании определенных различий в их гранулометрическом, химическом и микроэлементном составе. Общая закономерность распределения F и тяжелых металлов по отношению к усредненному региональному фону в изученных почвах о. Ольхон представлена в виде ряда: F (2,9) > Pb (1,7) > V (1,6) > Zn (1,5) > Co (1,1) > Cr (1,0) > Cu (0,97) > Ni (0,92). Это соответствует слабому уровню загрязнения почв F и тяжелыми металлами Pb, V и Zn. Дополнительно проведено сопоставление средних концентраций F, V, Zn, Co, Cr, Cu, Ni и Pb со значениями регионального фона и ПДК.

Настоящее исследование представляет первичные данные химического состава почв ключевых участков о. Ольхон. Выполненные работы носят региональный характер, реализованы в рамках исследования современного эколого-геохимического состояния прибрежной территории оз. Байкал, включенной в объект всемирного наследия ЮНЕСКО.

Работа выполнена в рамках следующих приоритетных направлений: IX.124 «Геодинамические закономерности вещественно-структурной эволюции твердых оболочек Земли» (проект IX.124.1.2, РК АААА-А17-117022250064-6); IX.136 «Катастрофические эндогенные и экзогенные процессы: проблемы прогноза и снижения уровня негативных последствий» (проект IX.136.1.3, РК АААА-А17-117022250069-1).

Авторы выражают благодарность М. В. Даниловой за выполнение грунтоведческого анализа образцов почв, а также Ю. С. Тарасовой за большую помощь при сборе фактического материала.

Список литературы

- Ариунушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. 2-е изд. М. : Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
- Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М. : Изд-во АН СССР, 1957. 237 с.
- Геннадиев А. Н., Глазовская М. А. География почв с основами почвоведения. М. : Высш. шк., 2008. 462 с.
- Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон) / В. И. Гребенщикова, Э. Е. Лустенберг, Н. А. Китаев, И. С. Ломоносов. Новосибирск : ГЕО, 2008. 234 с.
- Глазовская М. А. Общее почвоведение и география почв. М. : Высш. шк., 1981. 400 с.
- Дронова Т. Я., Соколова Т. А., Толпешта И. И. Глинистые минералы в почвах : учеб. пособие. Тула : Гриф, 2005. 336 с.
- Дубровская С. А. Тяжелые металлы в почвах Орско-Новотроицкого промышленного узла // География и природные ресурсы. 2013. № 2. С. 44–49.
- Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0.: коллективная монография / под ред. А. Л. Иванова, С. А. Шоба. М. : Изд-во Почв. ин-та им. В. В. Докучаева РАСХН, 2014. 768 с.
- Зацепин О. А., Кобиляцкая О. Д., Мутасова Т. Н. Геологический отчет. Гидрогеологические работы для водоснабжения поселков в Ольхонском районе. Информацион-

ный отчет о результатах незавершенных работ в 2004 г. по контракту № 6.2. Иркутск, 2004. 56 с.

Знаменская Т. И., Вантеева Ю. В., Солодянкина С. В. Факторы развития водной эрозии почв в зоне рекреационной деятельности в Приольхонье // Почвоведение. 2018. № 2. С. 221–228. <https://doi.org/10.7868/S0032180X18020107>.

Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. Новосибирск : Наука, 1991. 151 с.

Карта «Почвы бассейна озера Байкал», масштаб: 1:2 500 000 / И. А. Белозерцева, Л. Л. Убугунов, Н. Б. Бадмаев, В. Л. Убугунов, Д. Дорзготов, О. Батхишиг, В. И. Убугунова, А. Б. Гынинова, Л. Д. Балсанова, Б. Н. Гончиков, Ц. Д-Ц. Цыбикдоржиев, А. А. Сороковой. Иркутск : Изд-во Ин-та географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2015. 1 с.

Качинский Н. А. Физика почв. М. : Высш. шк., 1965. Ч. 1. 323 с.

Кузьмин В. А. Геохимия почв юга Восточной Сибири. Иркутск : Изд-во Ин-та географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2005. 137 с.

Лопатовская О. Г., Максимова Е. Н., Хадеева Е. Р. Засоленные почвы острова Ольхон и видовое разнообразие почвенных водорослей // Изв. ИГУ. Сер. Биология. Экология. 2017. Т. 20. С. 73–88.

Панкова Е. И., Воробьева Л. А. Диагностика и критерии оценки засоления почв // Засоленные почвы России. М. : Академкнига, 2006. С. 6–50.

Почвоведение. Ч. 1. Почва и почвообразование / Г. Д. Белицина, В. Д. Васильевская, Л. А. Гришина, Т. И. Евдокимова. М. : Высш. шк., 1988. 400 с.

Почвы бассейна оз. Байкал: итоги исследования за 1980–2017 гг. / Л. Л. Убугунов, В. И. Убугунова, И. А. Белозерцева, А. Б. Гынинова, А. А. Сороковой, В. Л. Убугунов // География и природные ресурсы. 2018. № 4. С. 76–87. <https://doi.org/10.21782/GiPR0206-1619-2018-4>.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М. : Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.

Рященко Т. Г. Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). Иркутск : Изд-во Ин-та зем. коры СО РАН, 2010. 287 с.

Светлаков А. А., Козырева Е. А., Рыбченко А. А. Предварительный анализ температурного состояния грунтов острова Ольхон (по данным мониторинга) // Вестн. Иркут. ГТУ. 2014. № 4(87). С. 81–85.

Analytical approaches for determination of bromine in sediment core samples by X-ray fluorescence spectrometry / Galina V. Pashkova, Tatyana V. Aisueva, Alexander L. Finkel'shtein, Egor V. Ivanov, Alexander A. Shchetnikov // Talanta. 2016. Vol. 160. P. 375–380. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.07.059>.

Barwick V. (ed.). Eurachem/CITAC Guide: Guide to Quality in Analytical Chemistry: An Aid to Accreditation (3rd ed.), 2016. 66 p.

Belozertseva I. A., Dorzhgotov D., Sorokovoy A. A. Ecological zoning of soils of the Lake Baikal basin in Russia and Mongolia // Sylwan. 2015. Vol. 158, N 8. P. 319–332.

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health. CCME, Winnipeg, 2007. Available at: http://esdat.net/Environmental%20Standards/Canada/SOIL/rev_soil_summary_tbl_7.0_e.pdf. (date of access: 07.06.2018).

Cherkashina T. Yu., Shtel'makh S. I., Pashkova G. V. Determination of trace elements in calcium rich carbonate rocks by Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry for environmental and geological studies // Applied Radiation and Isotopes. 2017. Vol. 130. P. 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.09.038>.

Dobrovol'skii V. V. Soil Carbonation, Finely Dispersed Soil Material, and Geochemistry of Heavy Metals // Eurasian Soil Science. 2001. Vol. 34, N 12. P. 1276–1253.

Elemental characterization of coal, fly ash, and bottom ash using an energy dispersive X-ray fluorescence technique / M. Tiwary, S. K. Sahu, R. C. Bhangare, P. Y. Ajmal, G. G. Pan-

dit // Applied Radiation and Isotopes. 2014. Vol. 90. P. 53–57. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2014.03.002>.

Govindaraju K. 1994 compilation of working values and sample description for 383 geo-standards // Geostandards and Geoanalytical Research. 1994. Vol. 18, N 1. P. 1–158. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.1994.tb00502.x>.

Heavy metal distribution and chemical speciation in tailings and soils around a Pb-Zn mine in Spain / L. Rodriguez, E. Ruiz, J. Alonso-Azcarate, J. Rincon // Journal of Environmental Management. 2009. Vol. 90. P. 1106–1116. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.04.007>.

Heavy metal speciation and pollution of agricultural soils along Jishui River in non-ferrous metal mine area in Jiangxi Province, China / G. Liu, L. Tao, X. Liu, J. Hou, A. Wang, R. Li // Journal of Geochemical Exploration. 2013. Vol. 132. P. 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.06.017>.

Influence of oil contamination on physical and biological properties of forest soil after chainsaw use / A. Klamerus-Iwan, E. Blonska, J. Lasota, A. Kalandyk, P. Waligorski // Water, Air, & Soil Pollution. 2015. Vol. 226. P. 1–9. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2649-2>.

Jones M. H., Wilson B. W. Rapid method for the determination of the major components of magnesite, dolomite and related materials by X-ray Spectrometry // Analyst. 1991. Vol. 116. P. 449–452. <https://doi.org/10.1039/AN9911600449>.

Kramar U. Advances in energy-dispersive X-ray fluorescence // Journal of Geochemical Exploration. 1997. Vol. 58, N 1. P. 73–80. [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(96\)00053-2](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(96)00053-2).

Microwave-Assisted Pillaring of a Montmorillonite with Al-Polycations in Concentrated Media / B. González, A. H. Pérez, R. Trujillano, A. Gil, M. A. Vicente // Materials. 2017. Vol. 10, N. 8. <https://doi.org/10.3390/ma10080886>.

Multielemental analysis of soils in coastal zones of the Lake Baikal by X-ray fluorescence and atomic absorption spectrometry: application to ecological and geochemical studies / T. Cherkashina, V. Pellinen, E. Fedorova, M. Gustaytis // Proceedings of the 17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM2017), Albena, Bulgaria. 2017. Vol. 17, N 52. P. 651–658. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/52>.

Norrish K. Geochemistry and mineralogy of trace elements, in: Trace Element in Soil-Plant-Animal Systems. Nicholas D. J. D., Egan A. R. (eds.). New York : Academic Publ., 1975. P. 55–81. <https://doi.org/10.18697/ajfand.76.15580>.

Reprint of “Pre-collisional (> 0,5 Ga) complexes of the Olkhon terrane (southern Siberia) as an echo of events in the Central Asian Orogenic Belt” / T. V. Donskaya, D. P. Gladkochub, V. S. Fedorovsky, E. V. Sklyarov, M. Cho, S. A. Sergeev, E. I. Demonterova, A. M. Mazukabzov, E. N. Lepekhina, W. Cheong, J. Kim // Gondwana Research. 2017. Vol. 47. P. 228–248. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.04.010>.

Service Manual. S8 TIGER XRF Spectrometer. Berlin, Bruker AXS, 2007, 450 p.

SPECTRA^{plus}. Software package for X-Ray Spectrometers. Version 2.2.3.1. Karlsruhe, Bruker AXS, 2010, 495 p.

Trace metal pollution in soil and wild plants from lead-zinc smelting areas in Huixian County, Northwest China / H. Y. Zhan, Y. F. Jiang, J. Yuan, X. F. Hu, O. D. Nartey. Journal of Geochemical Exploration. 2014. Vol. 147. P. 182–188. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.10.007>.

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 N 106. Rome, FAO Publ. Available at: <https://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf> (date of access: 16.09.2018).

Chemical Composition of Soil of Piedmont Dry Steppes of the Olkhon Island

V. A. Pellinen, S. I. Shtel'makh, T. Yu. Cherkashina

Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk

Abstract. Study of the soil cover, which is influenced by human-caused impact, is important aspect for the comprehension of occurring geochemical processes. The objective of our research is to investigate chemical composition of soil higher level of piedmont dry steppes of the Baikal region (Olkhon Island) to reveal geochemical features depending on their granulometric composition. As an object chestnut steppe soils have been chosen. The aqueous and hydrochloric extracts of the soils from the selected samples were studied using volumetric oxalate and phosphate methods. X-ray fluorescence spectrometry was used for the determination of the F, S_{total}, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Pb, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Ce, Nd contents in the soils. As the results of our research, we want to emphasize the following. Middle loamy, light loamy and sandy-loam varieties were distinguished. It is established that the studied soils in the main are relating to low-carbonate non-saline soils, however, in the middle loamy soil a weak degree of sulfate (gypsum) salinity has been revealed. In addition, the areal distribution of the trace and toxic elements was considered. Consistent pattern of the heavy metal and fluorine distributions in the soils was established, and than the connection with their granulometric composition has been revealed. This corresponds to a low level of the Olkhon Island soils contamination with F, Pb, V, and Zn. The study presents the primary data on the chemical composition of the steppe soils of the studied area. The performed works are of a regional nature and are part of a large research of the modern ecological and geochemical state of the territory included in the UNESCO World Heritage Site.

Keywords: soils, steppe landscape, physico-chemical properties of soils, X-ray fluorescence analysis.

For citation: Pellinen V.A., Shtel'makh S.I., Cherkashina T.Yu. Chemical Composition of Soil of Piedmont Dry Steppes of the Olkhon Island. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2019, vol. 27, pp. 90-110. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.90> (in Russian)

References

- Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Guidelines for the chemical analysis of soils]. Moscow, MSU Publ., 1970, 487 p. (in Russian)
- Vinogradov A.P. *Geokhimiia redkikh i rasseiannykh khimicheskikh elementov v pochvakh* [Geochemistry of rare and trace elements in soils]. Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1957, 237 p. (in Russian)
- Gennadiev A.N., Glazovskaya N.A. *Geografiya pochv s osnovami pochvovedeniya* [Geography of soils with the basics of soil science]. Moscow, High school Publ., 2008, 462 p. (in Russian)
- Grebenshchikova V.I., Lustenberg E.E., Kitaev N.A., Lomonosov I.S. *Geokhimiya okruzhaiushchei sredy Pribaikal'ia (Baikal'skii geoekologicheskii poligon)* [Geochemistry of the environment of the Baikal region (Baikal geo-ecological test site)]. Novosibirsk, GEO Publ., 2008, 234 p. (in Russian)
- Glazovskaya N.A. *Obshchee pochvovedenie i geografiya pochv* [General soil science and soil geography]. Moscow, High school Publ., 1981, 400 p. (in Russian)
- Dronova T.Ia., Sokolova T.A., Tolpeshta I.I. *Glinistye mineraly v pochvakh: ychebnoe posobie* [Clay minerals in soils: schoolbook]. Tyla, GRIF Publ., 2005, 336 p. (in Russian)
- Dubrovskaya S.A. *Tiazhelye metally v pochvakh Orskko-Novotroitskogo promyshlennogo uzla* [Heavy metals in soils of the Orsk-Novotroitsk industrial hub] *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and natural resources]. 2013, no. 2, pp. 44-49. (in Russian)

Ivanov A.L., Shoba S.A. (eds.). *Edinyi gosudarstvennyi reestr pochvennykh resursov Rossii. Versiya 1.0.: kollektivnaya monografiya* [Unified State register of soil resources of Russia. Version 1.0.: collective monograph]. Moscow, Soil Institute named after V.V. Dokuchaev RAAS Publ., 2014, 768 p. (in Russian)

Zatsepin O.A., Kobilyatskaya O.D., Mutasova T.N. *Gidrogeologicheskie raboty dlya vodosnabzheniya poselkov v Ol'khonskom raione. Geologicheskii otchet o rezul'tatakh nezavershennykh rabot v 2004 g. po kontraktu N 6.2* [Hydrogeological works for water supply of settlements in the Olkhonsky district. Geological report on the results of unfinished works in 2004 under contract no 6.2]. Irkutsk, 2004, 56 p. (in Russian)

Znamenskaya T. I., Vanteyeva Yu. V., Solodyankina S. V. *Faktory razvitiya vodnoy erozii pochv v zone rekreatsionnoy deyatel'nosti v Priol'khon'ye* [Factors of the development of water erosion in the zone of recreation activity in the Olkhon region] *Pochvovedeniye* [Eurasian soil science], 2018, no. 2, pp. 221-228. (in Russian) <https://doi.org/10.7868/S0032180X18020107>

Il'in V.B. *Tyazhelye metally v sisteme pochva–rastenie* [Heavy metals in soil–plant system]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991, 151 p. (in Russian)

Belozertseva I.A., Ubugunov L.L., Badmaev N.B., Ubugunov V.L., Dorzhgotov D., Batkhishig O., Ubugunova V.I., Gyninova A.B., Balsanova L.D., Gonchikov B.N., Tsybindorzhiev Ts.D-Ts., Sorokovoi A.A. *Karta "Pochvy basseina ozera Baikal", masshtab 1:2 500 000* [Map «Soils of the Basin of Lake Baikal», scale 1:2 500 000]. Irkutsk, Institute of Geography named for V.B. Sochava SB RAS Publ., 2015. 1 p. (in Russian)

Kachinskiy N.A. *Fizika pochv. Chast' 1.* [Soil Physics. Part 1.]. Moscow, Higher school Publ., 1965, 323 p. (in Russian)

Kuz'min V.A. *Geokhimiya pochv iuga Vostochnoi Sibiri* [Soil geochemistry of the South Eastern Siberia]. Irkutsk, Institute of Geography named for V.B. Sochava SB RAS Publ., 2005, 137 p. (in Russian)

Lopatovskaya O. G., Maksimova Ye. N., Khadeyeva Ye. R. *Zasolennyye pochvy ostrova Olkhon i vidovoye raznoobraziye pochvennykh vodorosley* [Saline Soils and Diversity of Soil Algae of Ol'khon Island at Baikal Lake] *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya. Ekologiya* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series «Biology. Ecology»], 2017, no. 20, pp. 73-88. (in Russian)

Pankova E.I., Vorob'eva L.A. *Diagnostika i kriterii otsenki zasoleniya pochv. V knige "Zasolennyye pochvy Rossii"* [Diagnostics and criteria for the assessing soil salinity. In the book of «Salinized soils of Russia»]. Moscow, Publishing and bookselling center "Akademkniga", 2006, pp. 6-50. (in Russian)

Belitsina G.D., Vasil'evskaya V.D., Grishina L.A., Evdokimova T.I. *Pochvovedenie. Chast' 1. Pochva i pochvoobrazovanie* [Soil science. Part 1. Soil and soil formation]. Moscow, High school Publ., 1988, 400 p. (in Russian)

Ubugunov L.L., Ubugunova V.I., Belozertseva I.A., Gyninova A.B., Sorokovoy A.A., Ubugunov V.L. *Pochvy basseyna oz. Baikal: itogi issledovaniya za 1980–2017 gg.* [Soils of the Lake Baikal drainage basin: Results of research for 1980-2017]. *Geografiya i prirodnyye resursy* [Geography and natural resources], 2018, no. 4, pp. 315-325. (in Russian) <https://doi.org/10.21782/GiPR0206-1619-2018-4>.

Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve: gigenicheskie normativy [Maximum allowable concentration (MAC) of chemical matter in soil: Hygienic standards]. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology Publ., 2006, 15 p. (in Russian)

Ryashchenko T.G. *Regional'noe gruntovedenie (Vostochnaya Sibir')* [Regional soil science (Eastern Siberia)]. Irkutsk, Institute of the Earth's Crust SB RAS Publ., 2010, 287 p. (in Russian)

Svetlakov A.A., Kozyreva E.A., Rybchenko A.A. *Predvaritel'nyi analiz temperaturnogo sostoyaniya gruntov ostrova Olkhon (po dannym monitoringa)* [Preliminary analysis of the grounds temperature state of the Olkhon Island (according to monitoring data)] *Vestnik Irkutskogo GTU* [Bulletin of the Irkutsk State Technical University], 2014, no. 4(87), pp. 81-85. (in Russian)

Pashkova G.V., Aisueva T.V., Finkel'shtein A.L., Ivanov E.V., Shchetnikov A.A. Analytical approaches for determination of bromine in sediment core samples by X-ray fluorescence spectrometry. *Talanta*, 2016, vol. 160, pp. 375-380. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.07.059>

Barwick V. (ed.), Eurachem/CITAC Guide: Guide to Quality in Analytical Chemistry: An Aid to Accreditation (3rd ed.), 2016. 66 p.

Belozertseva I.A., Dorzhogov D., Sorokovoy A.A. Ecological zoning of soils of the Lake Baikal basin in Russia and Mongolia. *Sylwan*, 2015, vol. 158, no. 8, pp. 319-332.

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health. CCME, Winnipeg, 2007. Available at: [http://esdat.net/Environmental %20Standards/Canada/SOIL/rev_soil_summary_tbl_7.0_e.pdf](http://esdat.net/Environmental%20Standards/Canada/SOIL/rev_soil_summary_tbl_7.0_e.pdf). (date of access: 07.06.2018).

Cherkashina T.Yu., Shtel'makh S.I., Pashkova G.V. Determination of trace elements in calcium rich carbonate rocks by Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry for environmental and geological studies. *Applied Radiation and Isotopes*, 2017, vol. 130, pp. 153-161. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.09.038>.

Dobrovol'skii V.V. Soil Carbonation, Finely Dispersed Soil Material, and Geochemistry of Heavy Metals. *Eurasian Soil Science*, 2001, vol. 34, no. 12, pp. 1276-1253.

Tiwarly M., Sahu S.K., Bhangare R.C., Ajmal P.Y., Pandit G.G. Elemental characterization of coal, fly ash, and bottom ash using an energy dispersive X-ray fluorescence technique. *Applied Radiation and Isotopes*, 2014, vol. 90, pp. 53-57. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2014.03.002>.

Govindaraju K. 1994 compilation of working values and sample description for 383 geo-standards. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 1994, vol. 18, no. 1, pp. 1-158. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.1994.tb00502.x>.

Rodriguez L., Ruiz E., Alonso-Azcarate J., Rincon J. Heavy metal distribution and chemical speciation in tailings and soils around a Pb-Zn mine in Spain. *Journal of Environmental Management*, 2009, vol. 90, pp. 1106-1116. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.04.007>.

Liu G., Tao L., Liu X., Hou J., Wang A., Li R. Heavy metal speciation and pollution of agricultural soils along Jishui River in non-ferrous metal mine area in Jiangxi Province, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 2013, vol. 132, pp. 156-163. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.06.017>.

Klamerus-Iwan A., Blonska E., Lasota J., Kalandyk A., Waligorski P. Influence of oil contamination on physical and biological properties of forest soil after chainsaw use. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2015, vol. 226, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2649-2>.

Jones M.H., Wilson B.W. Rapid method for the determination of the major components of magnesite, dolomite and related materials by X-ray Spectrometry. *Analyst*, 1991, vol. 116, pp. 449-452. <https://doi.org/10.1039/AN9911600449>.

Kramar U. Advances in energy-dispersive X-ray fluorescence. *Journal of Geochemical Exploration*, 1997, vol. 58, no. 1, pp. 73-80. [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(96\)00053-2](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(96)00053-2).

González B., Pérez A.H., Trujillano R., Gil A., Vicente M.A. Microwave-Assisted Pillaring of a Montmorillonite with Al-Polycations in Concentrated Media. *Materials*, 2017, vol. 10, no. 8. <https://doi.org/10.3390/ma10080886>.

Cherkashina T.Yu., Pellinen V.A., Fedorova E., Gustaytis M.A. Multielemental analysis of soils in coastal zones of the Lake Baikal by X-ray fluorescence and atomic absorption spectrometry: application to ecological and geochemical studies. *Proceedings of the 17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM2017)*, Albena, Bulgaria, 2017, vol. 17, no. 52, pp. 651-658. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/52>.

Norrish K. Geochemistry and mineralogy of trace elements, in: Trace Element in Soil-Plant-Animal Systems. Nicholas D.J.D., Egan A.R. (eds.). New York, Academic Publ., 1975, pp. 55-81. <https://doi.org/10.18697/ajfand.76.15580>.

Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Fedorovsky V.S., Sklyarov E.V., Cho M., Sergeev S.A., Demonterova E.I., Mazukabzov A.M., Lepekhina E.N., Cheong W., Kim J. Reprint of "Pre-collisional (> 0,5 Ga) complexes of the Olkhon terrane (southern Siberia) as an echo of

events in the Central Asian Orogenic Belt". *Gondwana Research*, 2017, vol. 47, pp. 228-248. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.04.010>.

Service Manual. S8 TIGER XRF Spectrometer, 2007, Berlin, Bruker AXS Publ., 450 p.

SPECTRA^{plus}. Software package for X-Ray Spectrometers. Version 2.2.3.1. Bruker AXS, Karlsruhe, 2010. 495 p.

Zhan H.Y., Jiang Y.F., Yuan J., Hu X.F., Nartey O.D. Trace metal pollution in soil and wild plants from lead-zinc smelting areas in Huixian County, Northwest China. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, vol. 147, pp. 182-188. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.10.007>.

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 N 106. Rome, FAO Publ. Available at: <https://www.fao.org/3/i3794en/i3794en.pdf> (date of access: 16.09.2018).

Пеллинен Вадим Александрович

*кандидат геолого-минералогических наук,
младший научный сотрудник,
Институт земной коры СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 128
тел.: (3952) 42-84-96
e-mail: vadim.a.pellinen@yandex.ru*

Pellinen Vadim Alexandrovich

*Candidate of Sciences (Geology and
Mineralogy), Junior Researcher
Institute of the Earth's Crust SB RAS
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952) 42-84-96
e-mail: vadim.a.pellinen@yandex.ru*

Штельмах Светлана Ивановна

*кандидат геолого-минералогических наук,
научный сотрудник
Институт земной коры СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 128
тел.: (3952) 42-84-96
e-mail: fotina78@gmail.com*

Shtel'makh Svetlana Ivanovna

*Candidate of Sciences (Geology and
Mineralogy), Scientific Researcher
Institute of the Earth's Crust SB RAS
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952) 42-84-96
e-mail: fotina78@gmail.com*

Черкашина Татьяна Юрьевна

*кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник
Институт земной коры СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 128
тел.: (3952) 42-84-96
e-mail: tcherk@crust.irk.ru.*

Cherkashina Tatiana Yur'yevna

*Candidate of Sciences (Geology and
Mineralogy), Senior Scientific Researcher
Institute of the Earth's Crust SB RAS
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952) 42-84-96
e-mail: tcherk@crust.irk.ru*

Дата поступления: 06.12.2018

Received: December, 06, 2018