

Геохимические особенности генетических типов четвертичных отложений как основа эколого-геологических исследований (на примере модельного участка «Сямозеро», Республика Карелия)

©2022 Н. В. Крутских[✉]

Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук», Пушкинская, 11, 185910, Петрозаводск, Республика Карелия, Российская Федерация

Аннотация

Введение: Важнейшей основой эколого-геологических исследований различных территорий является изучение геохимии четвертичных отложений. Они несут информацию о геохимическом фоне и могут указывать на природный генезис повышенных концентраций элементов. Целью работы является изучение геохимического состава четвертичных отложений ледниковых формаций юго-восточной части Фенноскандинавского щита.

Методика: Объект исследования расположен в южной части Фенноскандинавского щита и выступает природным фоном для близлежащих техногенно-преобразованных территорий. В рамках исследования проведен отбор проб с последующим определением комплекса главных петрогенных элементов и микроэлементов. Рассчитаны основные петрохимические модули и индексы. Проведена обработка данных с применением методов многомерной статистики: факторный и дискриминантный анализы.

Результаты и обсуждение: Выявлено, что для генетических типов четвертичных отложений характерно различие химических составов. Наибольшая дисперсия практически по всем элементам наблюдается для ледниково-озерных отложений. Высокая дисперсия содержаний элементов в озерно-ледниковых отложениях связывается с дальним переносом тонких фракций, содержащих различную петрогенетическую информацию. Анализ петрохимических модулей выявил относительную однородность источников сноса, повышенные содержания кварца, полевого шпата и низкую долю глинистых минералов. Дискриминантный анализ по главным элементам показал относительно слабое разделение по генетическим типам. При этом кремнезем является основным элементом, разделяющим ледниковые отложения от флювиогляциальных и ледниково-озерных. Ледниково-озерные характеризуются повышенными содержаниями Fe₂O₃, MnO, Ti₂O. Факторный анализ выявил 4 фактора, определяющих накопление микроэлементов в четвертичной толще. Основная ассоциация элементов связана с составом исходных пород. Сравнение микроэлементного состава с кларками по К.Х. Ведеполу обнаруживает накопление V, Cr, Ni, Cu, Bi во всех генетических типах. Дискриминантный анализ на основе микроэлементов показывает достаточно хорошее разделение на генетические типы, при этом важнейшими предикторами становятся элементы в комплексе.

Заключение: Выявленные закономерности химического состава генетических типов четвертичных отложений позволяют обосновать раздельное использование геохимического фона по типам отложений при эколого-геологических исследованиях. В качестве геохимического фона предлагаются медианные значения содержаний элементов в четвертичных отложениях.

Ключевые слова: четвертичные отложения, геохимия, статистика, геохимический фон.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Крутских Наталья Владимировна, e-mail: natkrut@gmail.com

Источник финансирования: Исследования выполнены в рамках темы госзадания ИГ КарНЦ РАН № АААА-А18-118020690231-1

Для цитирования: Крутских Н.В. Геохимические особенности генетических типов четвертичных отложений как основа эколого-геологических исследований (на примере модельного участка «Сямозеро», Республика Карелия) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2022. №2. С. 63–73. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2022.2/9280>

Введение

Эколого-геологическое значение четвертичных отложений достаточно велико и определяется широким спектром их воздействия на другие компоненты геосистемы. Наибольшая значимость четвертичных отложений проявляется в почвообразовании. Гранулометрический, минералогический, химический составы представляют собой основные характеристики, влияющие на свойства почв. Необходимо отметить, что четвертичные отложения относятся к наиболее распространенным коллекторам подземных вод и контролируют их состав. Свойства четвертичной толщи определяют инженерно-геологические и инженерно-экологические факторы развития территории, так как часто выступают основой инженерных сооружений. Четвертичные отложения могут сами по себе быть полезными ископаемыми (пески, соли, диатомиты, минеральные краски, сапропели, лечебные грязи) или включать их (россыпные месторождения золота, платины, вольфрама и др.). На состав осадочных отложений в широком смысле влияют состав области источника, интенсивность химического выветривания, гидравлическая сортировка, адсорбция, диагенез.

Изучение геохимии четвертичных отложений чрезвычайно важно с позиции эколого-геологических исследований. В связи с тем, что на различных их типах формируются собственные геосистемы, очевидна необходимость изучения закономерностей распределения химических элементов. Рыхлые отложения, наследуя состав материнских пород, формируют собственный геохимический фон территории. Понимание их природы и состава дает исследователям возможность разделять природные и техногенные источники поступления химических элементов в природные среды. Имея достоверные данные о геохимическом фоне в пределах определенных территорий можно делать выводы об интенсивности техногенного вовлечения элементов. С другой стороны анализ состава четвертичных отложений позволяет обнаружить повышенный природный геохимический фон и выявить естественные источники высоких содержаний тех или иных элементов.

Четвертичные отложения Феноскандинавского щита связаны с ледниковой эпохой. Они распространены повсеместно и сплошным чехлом покрывают докембрийские породы. В Карелии отложения четвертичного периода широко изучались с позиций общих закономерностей распространения [1-3], реконструкции палеообстановок [4], деградации последнего оледенения [5-7], поиска полезных ископаемых [8]. Однако исследования, отражающие геохимический

состав четвертичных отложений ледникового и водно-ледникового генезиса, практически отсутствуют. Большая работа по изучению основных закономерностей распределения химических элементов в четвертичной толще и выделении геохимических аномалий проведена для территории Беларуси [9].

Модельный участок «Сямозеро» расположен в Республике Карелия, Российской Федерации в пределах юго-восточной окраины Феноскандинавского щита. Выбор района связан с тем, что он является фоновой областью для городской территории. Петрозаводский городской округ расположен в 20 км к юго-востоку. Участок находится на траектории линий сноса материала при движении палеоледника в сторону современного расположения города. Примечательно, что ледниковые образования здесь представлены наиболее полно и сложены неоплейстоценовыми образованиями ледникового и водно-ледникового генезиса. Местами они перекрыты более молодыми голоценовыми аллювиальными, болотными и озерными отложениями. Более ранние рыхлые образования были размывы в результате многократных оледенений. Мощность четвертичных отложений в среднем составляет 20-30 м. Наибольшая мощность наблюдается в районах развития ледниковых и водно-ледниковых аккумулятивных форм. Они связаны длительным таянием глыб мертвого льда, отделенных от активного ледника возвышенностями доледникового рельефа. Широкое развитие водно-ледниковых аккумулятивных форм рельефа придает поверхности сложно-расчлененный характер [1]. Абсолютные отметки местности варьируют от 33 (уровень Онежского озера на востоке) до 200 м (Вешкельская возвышенность на западе).

В районе выделены несколько литоморфологических комплексов (рис. 1), формирование которых зависело от деградации последнего валдайского оледенения и связанного с ним приледникового водоема [8]. Среди них:

Моренные равнины. Представлены основной мореной, сложенной супесчаными, песчаными несортированными отложениями.

Ледораздельные аккумулятивные возвышенности сформировались на стыках разнонаправленных ледниковых потоков. Они характеризуется сложным строением, представлены как моренными отложениями, так и песчано-глинистыми осадками водно-ледникового генезиса. Особенностью строения ледораздельных аккумулятивных возвышенностей является сложное сочетание холмов и гряд различной формы и высоты. Многочисленные озера и болота зани-

мают понижения рельефа. Мощность четвертичных отложений достигает 80 м и более.

Ледниково-озерные отложения (отложения приледникового бассейна) представлены песчаными осадками литоральной зоны водоемов и гомогенными ленточными глинами, формировавшимися на глубинах. В среднем их мощность составляет 3–7 м. Осадки приледниковых водоемов сглаживают ледниковый и коренной рельеф и способствуют заболачиванию территорий.

Флювиогляциальные отложения озовых гряд формировались за счет сброса талых вод в подледниковых трещинах и туннелях. Озы образуют узкие гряды. Их механический состав непостоянен, они представлены крупно-, средне- и мелкозернистыми песками с гравием, галькой и валунами. У края ледника в местах впадения потоков талых вод в приледниковые водоемы сформированы флювиогляциальные дельты. Дельты сложены песчано-галечно-валунными отложениями. Их мощность составляет до 15–20 м.

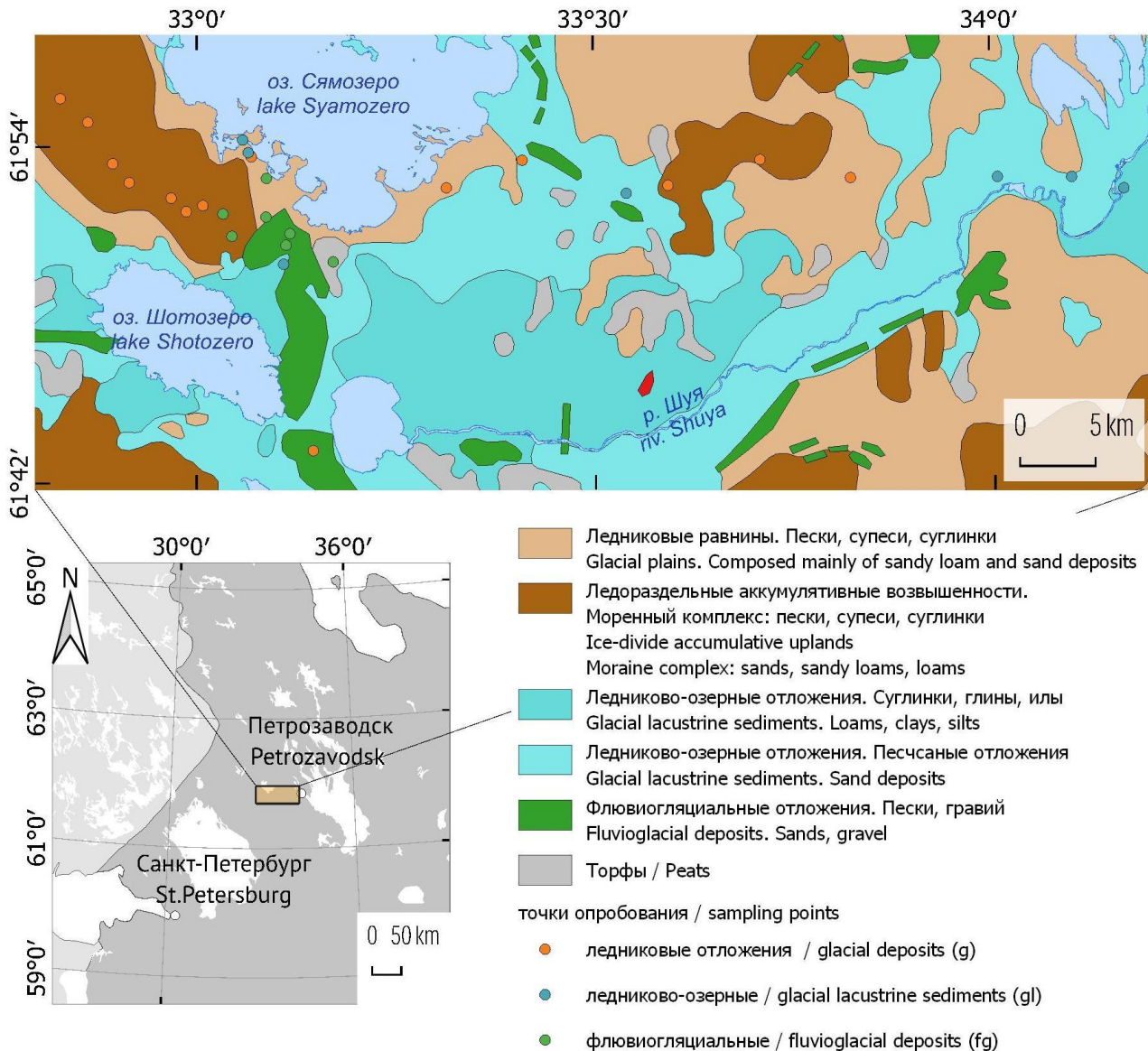


Рис. 1. Район исследования и карта четвертичных отложений модельного участка «Сямозеро».
[Fig. 1. Study area and map of Quaternary deposits of the Syamozero model site.]

Материалы и методы

Для изучения химического состава четвертичных отложений проведено обследование, включающее отбор проб из различных генетических типов (31 проба). Опробованы моренные, флювиогляциальные, озерно-ледниковые образования. Определение макрокомпонентов (Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , K_2O ,

Fe_2O_3 , P_2O_5 , TiO_2) в породах выполнено на волновом рентгенофлуоресцентном спектрометре ARL ADVANT[™]X (Termo Scientific), элементов Li, Be, P, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Th, U, РЗЭ – с помощью масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой и системой лазерной абляции X

Series 2+UP-266 macro (Thermo Scientific) в ЦКП КарНЦ РАН. Химический состав изучался для фракции менее 0.1 мм. Такая размерность является наиболее оптимальной при геологической съемке [10] и эколого-геохимических исследованиях при выявлении общего геохимического фона, неконтрастных техногенных геохимических аномалий и эколого-геохимическом картировании. Это связано с тем, что содержание микроэлементов в этой фракции менее подвержены случайным резким колебаниям, чем в более крупных фракциях.

Для общей характеристики отложений проанализированы основные петрохимические модули: ТМ – титановый, ГМ – гидролизатный, АМ – алюмокремниевый ЩМ – щелочной, НКМ – нормированная щелочность [11]. Для определения особенностей состава и природы материала использованы петрохимические индексы: индекс интенсивности химического выветривания (CIA) [12], химический индекс выветривания CIW [13], индекс зрелости осадков ICV [14].

$$CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \times 100$$

$$CIW = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)] \times 100$$

$$ICV = (Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + TiO_2) / Al_2O_3$$

В геохимических, эколого-геохимических исследованиях широко используются методы математической статистики [15-18]. Значения элементов, не отвечающих нормальному закону распределения, прологарифмированы. Для выявления закономерностей распределения элементов в работе использовались методы многомерного статистического анализа: факторный анализ, дискриминантный анализ.

Метод факторного анализа используется для выделения ассоциаций элементов и сокращения размерности. Факторный анализ позволяет определить влияние отдельных составляющих факторов, отвечающих за наличие линейных статистических связей между наблюдаемыми переменными [19]. Факторный анализ проведен методом главных компонент. Для повышения контрастности выполнено варимаксное вращение, направленное на максимизацию дисперсии факторных нагрузок.

Канонический дискриминантный анализ выбран как статистический метод определения зависимости между химическим составом и типом четвертичных отложений. Анализ позволяет определять дискриминантные функции независимых переменных, которые наилучшим образом различают группы зависимой переменной [20]. Канонические дискриминантные функции (канонические корни) являются линейными комбинациями дискриминантных переменных. Для обозначения статистической значимости мощности дискриминации используется критерий лямбда Уилкса. Ее значение меняется от 1 (нет дискриминации) до 0 (полная дискриминация). Группируемыми переменными являются типы четвертичных отложений – ледниково-озерные (gl), ледниковые (g) и флювиогляциальные (fg).

Результаты и обсуждение

Статистический анализ состава четвертичной толщи выявил различия содержания породообразующих оксидов и микроэлементов в четвертичных отложениях различного генезиса. Характеристики геохимического состава по главным элементам для трех основных генетических типов представлены на рис. 2. Выявлено, что практически по всем компонентам наименьшая дисперсия признаков характерна для ледниковых отложений, наибольшая – для ледниково-озерных. Это связывается с тем, что ледниково-озерные отложения формировались в приледниковом водоеме, куда с тальми водами поступался различный материал. Крупные частицы оседали в дельтах выноса, а более тонкие частицы, способные перемещаться на довольно большие расстояния, формировали ледниково-озерные отложения. Дальний перенос тонких частиц способствует доставке в приледниковое озеро более широкого спектра петрогенного материала, а соответственно их химический состав обладает большей пестротой.

Невысокий коэффициент вариации главных петрохимических модулей отражает относительную однородность генетических источников сноса (табл. 1). Высокие значения ЩМ и НКМ указывают на повышенное содержание в отложениях кварца и полевого шпата. По модулю ГМ можно судить о низком содержании глинистых минералов.

Значение CIA указывает на формирование осадков в условиях холодного климата ($CIA < 70$) (рис. 3). Индекс химического выветривания CIW изменяется от 64 до 78 и отражает низкую степень выветрелости. При этом медианные значения для ледниково-озерных отложений выше, чем для моренных и флювиогляциальных. Это говорит о том, что процессы химического выветривания при формировании ледниково-озерных отложений были более интенсивными. Индекс зрелости осадков ICV изменяется от 0.84 до 1.85 (в среднем 1.13), что свидетельствует о значительном количестве неглинистых силикатных минералов.

Несмотря на относительно слабое разделение по генетическим типам на основе макроэлементов (лямбда Уилкса в дискриминантном анализе составляет 0.18), наблюдаются некоторые закономерности в распределении главных элементов в различных типах четвертичных отложений. Первый канонический корень заметно отделяет ледниково-озерные отложения от флювиогляциальных. Структура первого канонического корня включает положительные значения CaO, Na₂O и отрицательные K₂O (рис. 4). Флювиогляциальные отложения находятся в положительной зоне по данной дискриминантной функции. Обратная картина характерна для ледниково-озерных толщ. Это связано преимущественным содержанием плагиоклазов во флювиогляциальных отложениях и калиевых полевых шпатов в ледниково-озерных.

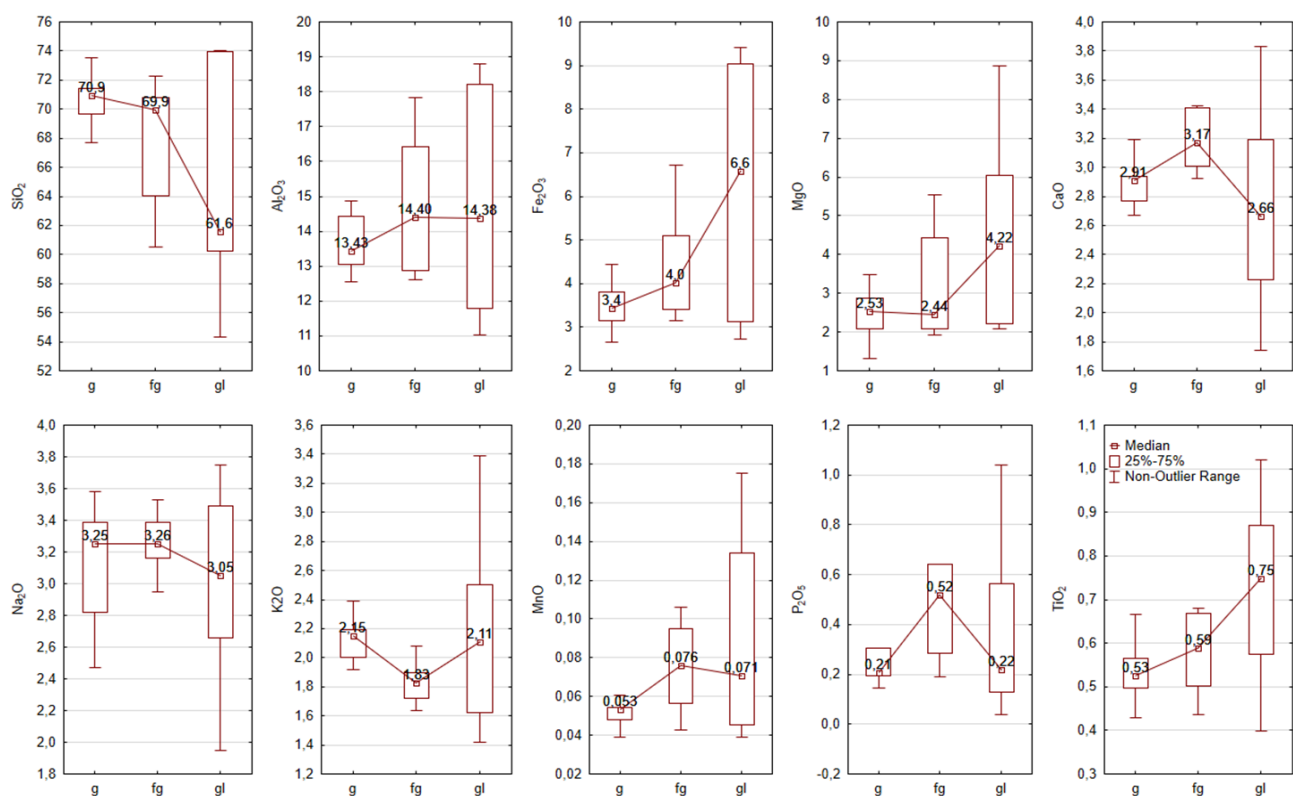


Рис. 2. Содержание петрогенных элементов в четвертичных отложениях: g – моренные отложения (ледниковые) (n=18); fg – флювиогляциальные отложения (n=6); gl – ледниково-озерные отложения (n=7).

[Fig. 2. Concentration of petrogenic elements in Quaternary deposits: g – moraine deposits (glacial) (n=18); fg – fluvioglacial deposits (n=6); gl – glacial-lacustrine deposits (n=7).]

Табл. 1. Значение петрохимических модулей
[Table 1. The value of petrochemical modules]

	TM	AM	ГМ	ЩМ	HKM
Минимум <i>Minimum</i>	0.03	0.15	0.20	0.90	0.24
Максимум <i>Maximum</i>	0.07	0.35	0.54	2.64	0.48
Средние значения <i>Average values</i>	0.04	0.21	0.28	1.54	0.37
Стандартное отклонение <i>Standard deviation</i>	0.01	0.04	0.08	0.33	0.07
Коэффициент вариации <i>The coefficient of variation</i>	20.2	21.0	27.2	21.3	17.6

Второй канонический корень представлен положительными значениями Fe₂O₃, MnO, Ti₂O и отрицательным значением SiO₂. Здесь наблюдается высокая положительная значимость кремнезема для ледниковых отложений, что позволяет говорить о преобладании кислых пород в их составе.

Наиболее распространенным эталоном для сравнения геохимических систем и анализа техногенного вовлечения элементов являются кларки. В работе содержание элементов нормированы на кларки по К.Х. Ведеполу [21], для расчета которых были использованы средневзвешенные величины химического состава мелкозернистых обломочных осадочных пород. Для всех типов четвертичных отложений характерно

накопление V, Cr, Ni, Cu, Bi (рис. 5). Дефицитные значения фиксируются для Mo, Sb, Cs, W, Tl. По данным геохимического картирования севера европейской территории России [22], позднелопийские гранитные интрузии, расположенные в пределах участка, а также в области сноса ледника, характеризуются элементами накопления – Cr, Ni, Mg. Это позволяет делать предположение, что они являются основными поставщиками этих элементов в четвертичной толще данного участка. Выявлено, что для моренных отложений свойственен наименьший разброс значений кларков концентраций практически по всем микроэлементам. Максимальная дисперсия значений кларков концентраций характерна для ледниково-озерных

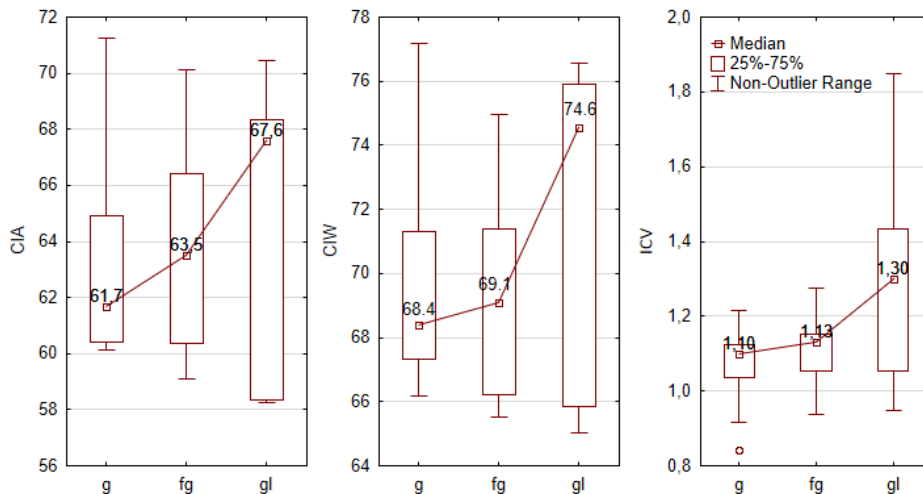


Рис. 3. Распределение геохимических индексов по генетическим типам четвертичных отложений.
 [Fig. 3. Distribution of geochemical indices by genetic types of Quaternary deposits.]

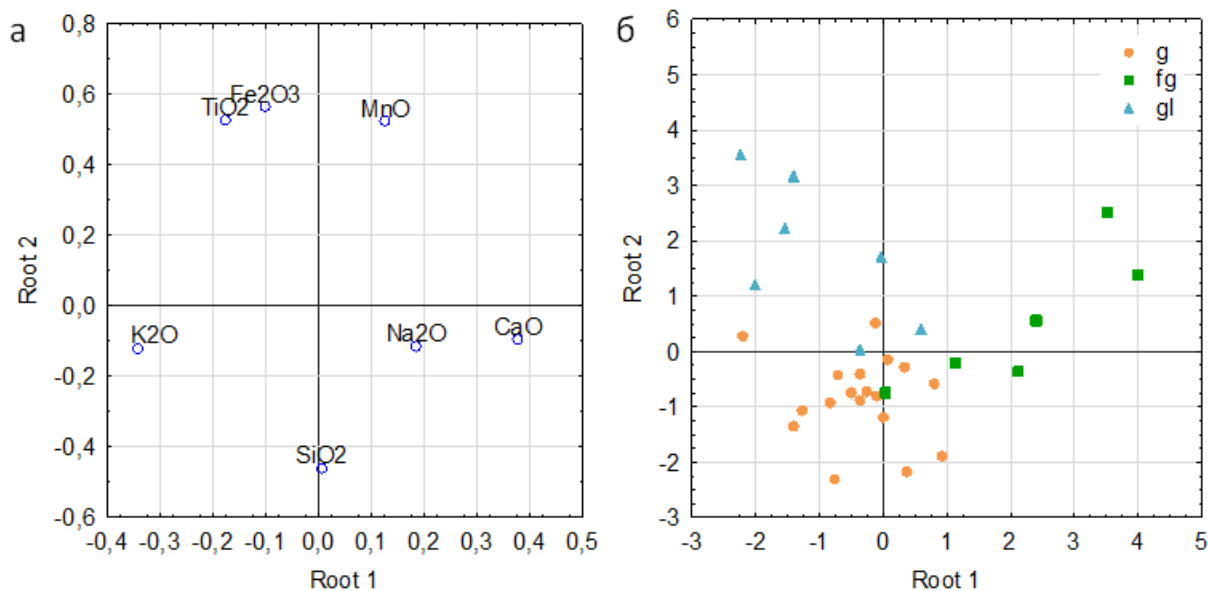


Рис. 4. Структура (а) и значения (б) канонических корней для различных генетических типов четвертичных отложений (по микрокомпонентам).
 [Fig. 4. Structure (a) and values (b) of canonical roots for different genetic types of Quaternary deposits (by microcomponents).]

отложений (рис. 5). Наибольшие вариации отмечаются для Cr, Ni, Cu. Высокий уровень накопления микроэлементов в ледниково-озерных отложениях подтверждает связь с особенностями осадконакопления и привносом химических элементов за счет более тонкого материала.

Проведенный факторный анализ на основе данных ICP-Мс определил 4 фактора, объясняющие 82.1% суммарной изменчивости. Большой комплекс элементов с факторными нагрузками 0.55–0.96 объединен в первый фактор: V, Cr, Ni, Co, Sc, Zn, Cu, Ti, Li, Y, Mn, U, Cs, Be, P, REE, Th, Bi. Первый фактор описывает 50,5% общей дисперсии и отражает петрогенетическую изменчивость состава осадков. Этот фактор хорошо коррелируется с содержанием петрогенных элементов. Фактор 2 включает 15.8% общей дисперсии и пред-

ставлен Hf, Zr, Ag, Cd (0.97-0.96) и отрицательной нагрузкой Ba (-0.54). Третий фактор описывает 10.5% дисперсии признаков и объединяет такие элементы как Ta, Nb, Sb (0.82-0.66) и Sr (-0.79). Фактор 4 имеет 5.5% общей дисперсии, он включает Pb (0.82).

По результатам пошагового дискриминантного анализа выявлено, что наибольший вклад в разделение генетических типов вносят W, Pb, Ga, Ti, Mn, V, U. Лямбда Уилкса составляет 0.011. На графиках канонических корней отражены средние значения группирующихся переменных (рис 6). Первый канонический корень, включающий Pb, Zr и отрицательные значения Li, Th, U, Zn, Cu, Mn, V, Sn, Co, Ti максимально разделяют ледниковые и ледниково-озерные отложения. Флювиогляциальные отложения занимают среднее положение. Для ледниково-озерных отложений

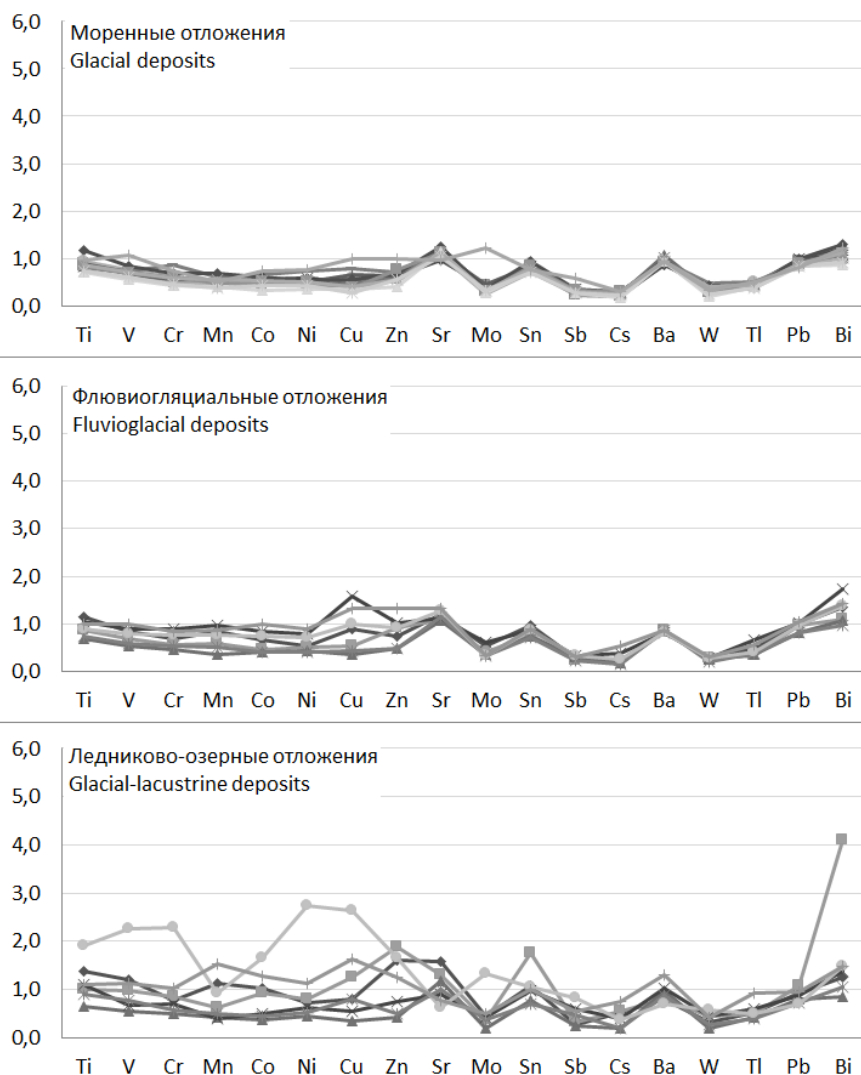


Рис. 5. Кларки концентраций для типов четвертичных отложений.
 [Fig. 5. Clarkes of concentrations for Quaternary deposit types.]

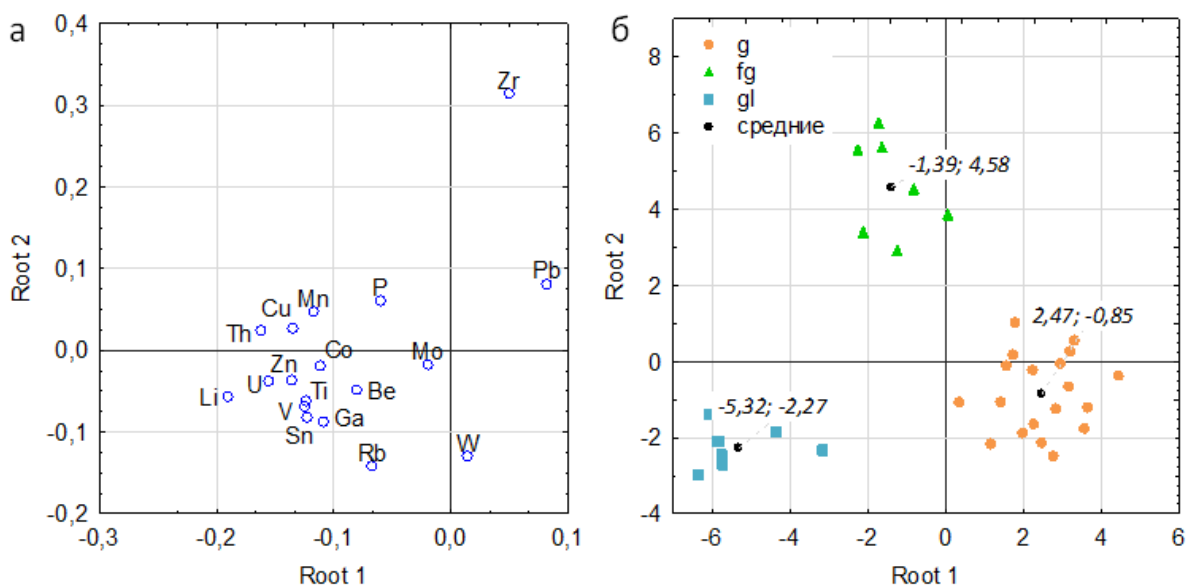


Рис. 6. Структура (а) и значения канонических корней для различных генетических типов четвертичных отложений (б).
 [Fig. 6. Structure (a) and values of canonical roots for different genetic types of Quaternary deposits (b).]

характерны повышенные содержания комплекса этих элементов. Второй канонический корень, представленный высокими значениями Zr, хорошо отделяет флювиогляциальные отложения от других.

Таким образом, сравнительный анализ химического состава по генетическим типам четвертичных отложений в пределах модельного участка выявляет их различия. При этом дискриминация по микроэлементам выражена гораздо сильнее, чем по макроэлементам. Это делает необходимым при эколого-геохимических исследованиях техногенно преобразованных территорий использовать разделенный под-

ход, заключающийся в использовании геохимического фона в соответствии с типом четвертичных отложений. В пределах модельного участка не выявлен техногенный привнос элементов, а повышенные концентрации расцениваются как выбросы. В связи с этим в качестве геохимического фона для г. Петрозаводска и сопредельных территорий для большинства микроэлементов можно использовать медианные значения с учетом генетического типа четвертичных отложений (табл. 2). Медианные значения в данном случае предпочтительнее средних в связи с тем, что они нивелируют выбросы и асимметрию данных.

Табл. 2. Медианные содержания химических элементов в четвертичных отложениях модельного участка «Сямозеро»
[Table 2. Median concentrations of chemical elements in Quaternary deposits of the Syamozero model area]

Элемент Element	Ледниковые Glacial	Флювиогляциальные Fluvioglacial deposits	Ледниково-озерные Glacial-lacustrine deposits	В целом по участку Total
Li	12.8	14.5	34.1	13.0
Be	1.5	1.5	1.6	1.5
P	582	823	631	598
Sc	15.5	16.1	17.6	15.7
Ti	3243	3400	4210	3412
V	68	77	93	71
Cr	55	63	72	56
Mn	398	587	471	408
Co	8.8	11.4	15.8	9.1
Ni	23.6	25.6	33.5	24.1
Cu	13.5	25.3	22.3	15.2
Zn	43	61	84	46
Ga	16.5	16.5	17.5	16.5
Rb	58	49	64	58
Sr	347	366	322	352
Y	13.10	13.81	14.29	13.47
Zr	1029	1476	897	1081
Nb	7.6	7.0	8.7	7.55
Mo	0.44	0.38	0.45	0.44
Ag	0.18	0.26	0.14	0.17
Cd	0.67	0.89	0.60	0.67
Sn	1.6	1.8	2.1	1.76
Sb	0.12	0.12	0.19	0.12
Cs	1.3	1.1	1.9	1.3
Ba	585	533	553	570
Hf	18.0	24.3	15.2	18.0
Ta	0.49	0.43	0.48	0.48
W	0.63	0.53	0.79	0.61
Tl	0.39	0.37	0.44	0.39
Pb	15.7	16.5	14.8	15.8
Bi	0.18	0.22	0.22	0.18
Th	5.3	6.3	8.7	5.8
U	1.3	1.4	1.8	1.3

Заключение

Это исследование показало, что четвертичные отложения изучаемого участка характеризуются низким содержанием глинистых минералов. Основным источником сноса являются кислые породы, в том числе позднеплейстоценовые интрузивные породы. Наиболее представительны кислые породы проявлены в ледниковых отложениях. Все отложения имеют низкую степень химического выветривания, однако на ледниково-озерные отложения процессы химического выветривания наложены более интенсивно. Палеоклиматические условия осадконакопления определяются как холодные. Выявлены основные закономерности содержания микроэлементов в различных генетических типах четвертичных отложений. Для ледниково-озерных отложений наблюдается большая дисперсия практически по всем элементам, что обусловлено присутствием в них тонких фракций и перенос более разнообразного петрохимического материала. Хорошая дифференциация четвертичных отложений на генетические типы по химическому составу дополнительно указывает на неоднородный состав отложений. При этом наилучшими предикторами являются микроэлементы в сравнении с макроэлементами. В связи с этим целесообразно при эколого-геологических исследованиях техногенно нагруженных территорий в качестве геохимического фона использовать медианные значения в соответствии с генетическим типом.

Благодарности: Исследование выполнено по программе Института геологии Карельского научного центра АААА-А18-118020690231-1.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи

ЛИТЕРАТУРА

1. Бискэ Г. С. Четвертичные отложения и геоморфология Карелии. Петрозаводск, Госиздат КАССР, 1959. 307 с.
2. Четвертичные отложения Финляндии и Северо-Запада Российской Федерации и их сырьевые ресурсы. Карта 1:1 000 000. Ред. Й. Низмеля, И.М. Экман, А.Д. Лукашов. Эспоо, Геологический НИИ Финляндии, 1993
3. Демидов И. Н., Ларсен Э. А., Кйяер К. Х., Хоумарк-Нильсен М. Стратиграфия верхнего плейстоцена южной части Беломорского бассейна // *Региональная геология и металлогения*. 2007. № 30–31. С. 179–189.
4. Шелехова Т. С., Лазарева О. В., Демидов И. Н. Палеоэкологические условия развития северо-западного Прионежья в позднеледниковье и голоцене // *Геология и полезные ископаемые Карелии*. 2005. С. 149–157.
5. Лукашов А. Д., Демидов И. Н. Условия формирования рельефа и четвертичных отложений Карелии в поздне и послеледниковье как основа становления современной природной среды // *Труды КарНЦ РАН. Сер. Биология*. № 2. 2001. С. 3–11.
6. Ekman I., Pyy V. Deglaciation, the Younger Dryas end moraines and their correlation in Russian Karelia and adjacent areas // *Glacial deposits in NorthEast Europe*. Rotterdam, 1995. pp. 195–209.
7. Демидов И. Н. О выделении маркирующего горизонта в донных отложениях Онежского приледникового озера // *Доклады Академии наук*. 2006. Т. 407. № 2. С. 217–220.
8. Демидов И. Н., Шелехова Т. С. Диатомиты Карелии (особенности формирования, распространения, перспективы использования). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006, 89 с.
9. Матвеев А. В., Бордон В. Е. Геохимия четвертичных отложений Беларуси. Минск: Беларусь. наука, 2013. 191 с.
10. Методическое руководство по геологической съемке масштаба 1:50000. Под ред. А.С. Кумпана. Ленинград, Недра. 1978. 26 с.
11. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии. СПб., Наука, 2000. 479 с.
12. Nesbitt H. W., Young, G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // *Nature*. 1982. V. 299. P. 715–717.
13. Fedo C. M., Nesbitt H. W., Young G. M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance // *Geology*. 1995. V. 23. P. 921–924
14. Cox R., Lowe D. R., Cullers R. L. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1995, Vol.59(14). P. 2919–2940.
15. Jimenez-Espinosa R., Sousa A.J., Chica-Olmo M. Identification of geochemical anomalies using principal component analysis and factorial kriging analysis // *Journal of Geochemical Exploration*. 1993. Vol. 46 (3). P. 245–256.
16. Жуковская Н. В., Лукашев О. В. Пространственная дифференциация ассоциаций химических элементов в почвах национального парка «Браславские озера» // *Вестник БГУ. Сер. 2*. 2013. № 2. С. 90–95.
17. Zhang C., Selinus O. Statistics and GIS in environmental geochemistry — some problems and solutions // *Journal of Geochemical Exploration*. 1998, Vol. 64(1–3). P. 339–354.
18. Sinowski W., Auerswald K. Using relief parameters in a discriminant analysis to stratify geological areas with different spatial variability of soil properties // *Geoderma*. 1999. Vol. 89(1–2). P. 113–128.
19. Ким Дж. О., Мьюллер Ч. У., Клекка У. Р. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. М., Финансы и статистика. 1989. 215 с.
20. Cacoullos T. Discriminant analysis and applications. London, Academic press, Inc. Ltd. 1972. 454 p.
21. Wedepohl K.H. The composition of the continental crust // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1995. Vol. 59(7). P. 1217–1232.
22. Чекушин В. А. Отчет по теме: Геохимическое картирование севера европейской территории России в рамках международной программы «Экогеохимия Баренцева региона» и проведение опережающего этапа составления геохимических основ Госгеолкарты-1000 третьего поколения на листы Р-35,36. Санкт-Петербург, 2004.

Geochemical features of genetic types of Quaternary deposits as a basis for geoecological research (on the example of the Syamozero model site, Republic of Karelia)

©2022 N. V. Krutskikh[✉]

*Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences, Pushkinskaya,
11, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation*

Abstract

Introduction: The most important basis for ecological and geological studies of various territories is the investigation of the geochemistry of Quaternary deposits. They provide information about the geochemical background and may indicate the natural genesis of elevated concentrations of elements. The aim of this study was the investigation of the geochemical composition of the Quaternary deposits of glacial formations in the south-eastern part of the Fennoscandian shield.

Methods: The object of study is located in the southern part of the Fennoscandian shield and acts as a natural background for the located nearby technogenically transformed territories. As part of the study, sampling with the subsequent determination of the complex of the main petrogenic elements and microelements was carried out. The main petrochemical modules and indices have been calculated. Data processing was carried out using multivariate statistics methods: factorial and discriminant analyses.

Results and discussion: It was revealed that the genetic types of Quaternary deposits are characterized by a difference in chemical compositions. The greatest dispersion for almost all elements was observed for glaciolimnic deposits. The high dispersion of element contents in glaciolimnic deposits was associated with the long-range transport of fine fractions containing various petrogenetic information. The analysis of petrochemical modules revealed the relative homogeneity of source area, elevated contents of quartz, feldspar, and a low proportion of clay minerals. Discriminant analysis for the main elements showed a relatively weak separation by genetic types. At the same time, silica was the main element separating glacial deposits from glaciofluvial deposits and glaciolimnic deposits. Glaciolimnic deposits were characterized by high content of Fe₂O₃, MnO, Ti₂O. Factor analysis revealed 4 factors that determine the accumulation of trace elements in the Quaternary stratum. The main association of elements was related to the composition of the source rocks. Comparison of trace element composition with clarkes according to K. H. Wedepol revealed the accumulation of V, Cr, Ni, Cu, Bi in all genetic types. Discriminant analysis based on trace elements showed a fairly good separation into genetic types, with elements in the complex becoming the most important predictors.

Conclusions: The revealed regularities in the chemical composition of the genetic types of Quaternary deposits allowed to substantiate the separate use of the geochemical background according to the types of deposits in ecological and geological studies. Median values of element contents in Quaternary deposits were proposed as a geochemical background.

Keywords: Quaternary deposits, geochemistry, statistics, geochemical background

Funding: The research was performed within the framework of the state project of IG KarRC RAS No. AAAA-A18-118020690231-1



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Natalya V. Krutskikh, e-mail: natkrut@gmail.com

For citation: Krutskikh N.V. Geochemical features of genetic types of Quaternary deposits as a basis for geoecological research (on the example of the Syamozero model site, Republic of Karelia) *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2022, no. 2, pp. 63–73. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2022.2/9280>

REFERENCES

1. Biske G.S. Chetvertichnyye otlozheniya i geomorfologiya Karelii [Quaternary deposits and geomorphology of Karelia]. Petrozavodsk, Gosizdat KASSR publ., 1959. 307 p. (in Russ.).
2. Niemela J., Ekman I., Lukashov A. Quaternary deposits of Finland and northwestern part of Russian Federation and their resources. Map 1: 1 000 000. Geological Survey of Finland and Russian Academy of Science, Institute of Geology, Petrozavodsk, 1993.
3. Demidov I. N., Larsen E. A., Kyaer K. Kh., Houmark-Nielsen M. Stratigrafiya verkhnego pleystotsena yuzhnoy chasti Belomorskogo basseyna [Upper Pleistocene stratigraphy of the southern part of the Belomorian basin]. *Regionalnaya Geologiya i Metallogeniya – Regional Geology and Metallogeny*, 2010, no. 30-31, pp. 179–189. (in Russ.)
4. Shelekhova T. S., Lazareva O. V., Demidov I. N. Paleoekologicheskiye usloviya razvitiya severo-zapadnogo Prionezh'ya v pozdnelednikov'ye i golotsene [Paleoecological conditions for the development of the northwestern Onega region in the Late Glacial and Holocene]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii – Geology and minerals of Karelia*, 2005, pp. 149–157. (in Russ.)
5. Lukashov A. D., Demidov I. N. Usloviya formirovaniya relyefa i chetvertichnykh otlozheniy Karelii v pozdne i poslednikovye kak osnova stanovleniya sovremennoy prirodnoy sredy [Conditions for the formation of the relief and Quaternary deposits of Karelia in the late and post-glacial as the basis for the formation of the modern natural environment]. *Trudy KarNTs RAN. Ser. Biologiya – Transactions of Karelian Research Center of Russian Academy of Sciences. Ser. Biology*. 2001, no. 2, pp. 3–11. (in Russ.)
6. Ekman I., Ilyin V. Deglaciation, the Younger Dryas end moraines and their correlation in Russian Karelia and adjacent areas. *Glacial deposits in NorthEast Europe*. Rotterdam. 1995, pp. 195–209.
7. Demidov I. N. O vydelenii markiruyushchego gorizonta v donnykh otlozheniyakh Onezhskogo prilednikovogo ozera [On the identification of a marker horizon in the bottom sediments of the Onega periglacial lake]. *Doklady Akademii nauk – Reports of the Academy of Sciences*, 2006, vol. 407, no. 2, pp. 217–220. (in Russ.)
8. Demidov I. N., Shelekhova T. S. *Diatomity Karelii (osobennosti formirovaniya, rasprostraneniya, perspektivy ispol'zovaniya)* [Diatomites of Karelia (features of formation, distribution, prospects for use)]. Petrozavodsk, Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences publ., 2006. 89 p. (in Russ.)
9. Matveev A.V., Bordon V.E. *Geokhimiya chetvertichnykh otlozheniy Belarusi* [Geochemistry of Quaternary deposits of Belarus]. Minsk, Belarus. Navuka publ., 2013. 191 p. (in Russ.)
10. *Metodicheskoye rukovodstvo po geologicheskoy syemke masshtaba 1:50000* [Guidelines for geological surveying at a scale of 1:50000]. Ed. A.S. Kumpuna. Leningrad, Nedra publ., 1978. 26 p. (in Russ.)
11. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Osnovy litokhimii* [Fundamentals of lithochemistry]. St. Petersburg, Nauka publ., 2000. 479 p. (in Russ.)
12. Nesbitt H. W., Young, G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 1982, vol. 299, pp. 715–717
13. Fedo C. M., Nesbitt H. W., Young G. M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, 1995, vol. 23, pp. 921–924
14. Cox R., Lowe D.R., Cullers R.L. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, Vol.59(14), pp 2919–2940.
15. Jimenez-Espinosa R., Sousa A.J., Chica-Olmo M. Identification of geochemical anomalies using principal component analysis and factorial kriging analysis. *Journal of Geochemical Exploration*, 1993, vol. 46 (3), pp 245–256.
16. Zhukovskaya N. V., Lukashev O. V. Prostranstvennaya differentsiatsiya assotsiatsiy khimicheskikh elementov v pochvakh natsional'nogo parka «Braslavskiy ozera» [Spatial differentiation of associations of chemical elements in the soils of the Braslav Lakes National Park]. *Vestnik BGU. Ser. 2 – Bulletin of the Belarusian State University. Series. 2*, 2013, no. 2, pp. 90–95. (in Russ.)
17. Zhang C., Selinus O. Statistics and GIS in environmental geochemistry — some problems and solutions. *Journal of Geochemical Exploration*. 1998, vol. 64(1–3), pp. 339–354.
18. Sinowski W., Auerswald K. Using relief parameters in a discriminant analysis to stratify geological areas with different spatial variability of soil properties. *Geoderma*. 1999, vol. 89(1–2), pp. 113–128.
19. Kim J.O., Mueller C.W., Klecka W.R. *Faktorniy, diskriminantnyy i klasterniy analiz* [Factor, discriminant and cluster analysis]. Trans. from Eng.. Moscow, Finansy i statistika publ., 1989. 215 p. (in Russ.)
20. Cacoullos T. Discriminant analysis and applications. London, Academic press, Inc. Ltd. 1972, 454 p.
21. Wedepohl K.H. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, vol. 59(7), pp. 1217–1232.
22. Chekushin V. A. Otchet po teme: Geokhimicheskoye kartirovaniye severa yevropeyskoy territorii Rossii v ramkakh mezhdunarodnoy programmy «Ekogeokhimiya Barentseva regiona» i provedeniye operezhayushchego etapa sostavleniya geokhimicheskikh osnov Gosgeolkarty-1000 tret'yego pokoleniya na listy R-35,36 [Report on the topic: Geochemical mapping of the north of the European territory of Russia in the framework of the international program "Ecogeochemistry of the Barents Region" and the advanced stage of compiling the geochemical foundations of the third generation Gosgeolkarta-1000 on sheets R-35,36]. St. Petersburg, 2004.

Крутских Наталья Владимировна – к.г.н., старший научный сотрудник, Институт Геологии ФИЦ «Карельский научный центр РАН», г. Петрозаводск, Республика Карелия, Российская Федерация; E-mail: natkrut@gmail.com; ORCID <http://orcid.org/0000-0003-3596-1218>

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Natalya V. Krutskikh – PhD in Geogr., Senior Research Fellow, Institute of Geology, Federal Research Center «Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences», Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russian Federation; Email: natkrut@gmail.com; ORCID <http://orcid.org/0000-0003-3596-1218>

Author have read and approved the final manuscript.