

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК504:553.5

DOI: 10.15372/GIPR20210116

Н.В. КРУТСКИХ

Институт геологии Карельского научного центра РАН,
185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, Россия, natkrut@gmail.com

АНАЛИЗ ЗОНЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Выполнена качественная оценка пылевого загрязнения в пределах влияния карьеров по добыче щебня, а также проведен пространственный анализ распространения пыли с использованием геоинформационных технологий. Первичными материалами являются результаты полевого геохимического опробования почв и снежного покрова, а также данные дистанционного зондирования Земли. Факторный анализ, проведенный по геохимическим данным, выявил ассоциацию микроэлементов (V, Co, Ni, Cu, Sc), характерную как для почвы, так и для снега. Эти элементы имеют повышенные коэффициенты концентраций в разрабатываемых на изучаемых карьерах породах, представленных позд-невепсийскими габбро-дolerитами. По результатам исследования с использованием программного продукта QuantumGIS созданы модели пространственного распределения выделенной ассоциации элементов. При этом отмечено, что высокие значения фактора приурочены непосредственно к территориям вблизи карьеров. Анализ спектральных характеристик снегового покрова по данным космоснимков Landsat позволяет выявить пути миграции карьерной пыли. В качестве критериев оценки выступают нормализованный индекс снега и индекс загрязнения снега. Они рассчитаны для открытых площадок мониторинга с обильным снегонакоплением, в пределах которых снег сохраняет естественное состояние в течение всего зимнего периода. Построены интерполяционные модели распространения этих индексов. Результаты распределения хорошо коррелируются с ветровым режимом. Показана ограничивающая роль рельефа местности при перемещении и аккумуляции пылевого загрязнения. Сравнение спектральных индексов, полученных для снимков разных лет, показало, что более контрастные результаты выявлены для данных, полученных на стадии снеготаяния. При этом картина пространственного распределения загрязнения в целом меняется слабо.

Ключевые слова: горнодобывающие территории, добыча щебня, геоинформационный анализ, пространственный анализ, дистанционное зондирование Земли, мониторинг.

N.V. KRUTSKIKH

Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences,
185910, Petrozavodsk, ul. Pushkinskaya, 11, Russia, natkrut@gmail.com

ANALYSIS OF THE ZONE AFFECTED BY QUARRYING COMPANIES BY USING GEOINFORMATION TECHNOLOGIES

A qualitative assessment is made of dust pollution in zones affected by crushed stone quarries as well as was carrying out a spatial analysis of the dust distribution geoinformation technologies. Primary data were provided by the results of geochemical field sampling of soils and snow cover and Earth remote sensing. The factor analysis based on geochemical data has revealed a trace element (V, Co, Ni, Cu and Sc) association characteristic of both the soil and snow. These elements display elevated concentration coefficients in the rocks quarried, namely Late Vepsian gabbro-dolerites. Models of the spatial distribution of the identified trace element association, based on the results of the study, were constructed using QuantumGIS programme. It has been noted that high factor values were obtained near the quarries. Analysis of the spectral characteristics of snow cover, based on Landsat satellite images, has revealed quarry dust migration routes. Assessment criteria were provided by the normalized snow index and the snow pollution index. They were calculated for open monitoring sites with abundant snow where the snow retains its natural condition over the entire winter season. Interpolation models, showing the distribution of these indices, were con-

structed. The results of the distribution are clearly correlated with the wind regime. The limiting role of the relief in the movement and accumulation of dust pollution is shown. Comparison of the spectral indices obtained for images from different years has shown that the results obtained at a snow melting stage are most contrasting, although the spatial distribution pattern of pollution generally varies slightly.

Keywords: quarrying territories, crushed stone production, geoinformation analysis, spatial analysis, Earth remote sensing, monitoring.

ВВЕДЕНИЕ

Горнопромышленная отрасль представляет собой динамично развивающееся направление экономики Российской Федерации. Наибольший рост производства в данной сфере характерен для предприятий по добыче строительных материалов (преимущественно щебня). Исходя из сложившейся транспортной инфраструктуры, горнодобывающие предприятия зачастую располагаются вблизи населенных пунктов, что вызывает определенные проблемы экологического характера. Работа карьеров неизменно приводит к трансформации природных ландшафтов, рельефа, водного режима. Также за счет пыления происходит загрязнение воздуха, почв, подземных и поверхностных вод [1].

Наиболее широко в литературе рассмотрены вопросы воздействия горнодобывающего комплекса на компоненты природной среды в пределах территорий развития рудных месторождений [2–6], в меньшей степени — в районах добычи нерудного строительного сырья [7]. Основные методы изучения изменений среды традиционно геохимические. Некоторое внимание уделяется вопросам оценки пылевого загрязнения от карьеров, пространственное распространение которого зависит от множества факторов [8–10]. В работах исследовалось осаждение крупных фракций пыли вблизи карьеров. Однако тонкодисперсные частицы способны перемещаться на достаточно большие расстояния. Изучение качественного изменения компонентов природной среды в пределах зон воздействия карьеров по добыче щебеночного камня не теряет своей экологической значимости и актуальности. Медико-биологические исследования подтверждают влияние минеральной пыли на здоровье населения [11]. Заболевания, вызванные минеральной пылью, также называемые пневмокониозом, включают широкий спектр расстройств [12].

В связи с этим основная цель работы — анализ распространения пылевого загрязнения в зонах воздействия предприятий по добыче щебня. Исходя из цели, ставятся две основные задачи: дать качественную оценку состава природных сред и определить пространственное распределение пылевого загрязнения в пределах территории влияния щебеночных карьеров.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Изучение влияния горнодобывающего комплекса проведено на примере нескольких объектов, расположенных на юге Республики Карелия (поселки Рыбрека, Другая река, Каскесручей) и Ленинградской области (пос. Щелейки) (рис. 1). Жители близлежащих к карьерам карельских поселков испытывают дискомфорт, обусловленный высокой запыленностью, которая особо заметна в зимний период за счет цветности снежного покрова. Согласно Государственному докладу [13], лидирующие места по заболеваемости в Республике Карелия занимают болезни органов дыхания. При этом данные показатели Прионежского района выше на 10 %.

В геологическом отношении тестовые объекты приурочены к ропручейскому силлу, представленному габбродолеритами, долеритами и габбро. Возраст интрузии — поздневепсийский. Силл прорывает отложения вепсийского горизонта шокшинской свиты, сложенной песчаниками, алевролитами. Геохимический тип специализации габбродолеритового подкомплекса халько-лито-сидерофильный с группой элементов накопления: Cu, S, Co, Ni. Геохимический тип шокшинской свиты сидеро-халькофильный с группой элементов накопления: Cr, As, Ag, Sc, Ga, Mo, V, Cu, Se [14]. Карьеры в поселках Щелейки, Каскесручей, Другая река и Рыбрека вскрывают горизонты габбродолеритового комплекса.

Изучение трансформации природной среды проведено с использованием наземных и дистанционных методов. К наземным методам относится опробование почв и снежного покрова с целью изучения особенностей их геохимического состава. Полевое геохимическое обследование почв и техногенных грунтов проведено в 2012 г., снеговой покров изучался в марте 2013 г. При отборе проб почв и снега использовались стандартные методики [15]. Аналитические работы проведены с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования Федерального исследовательского

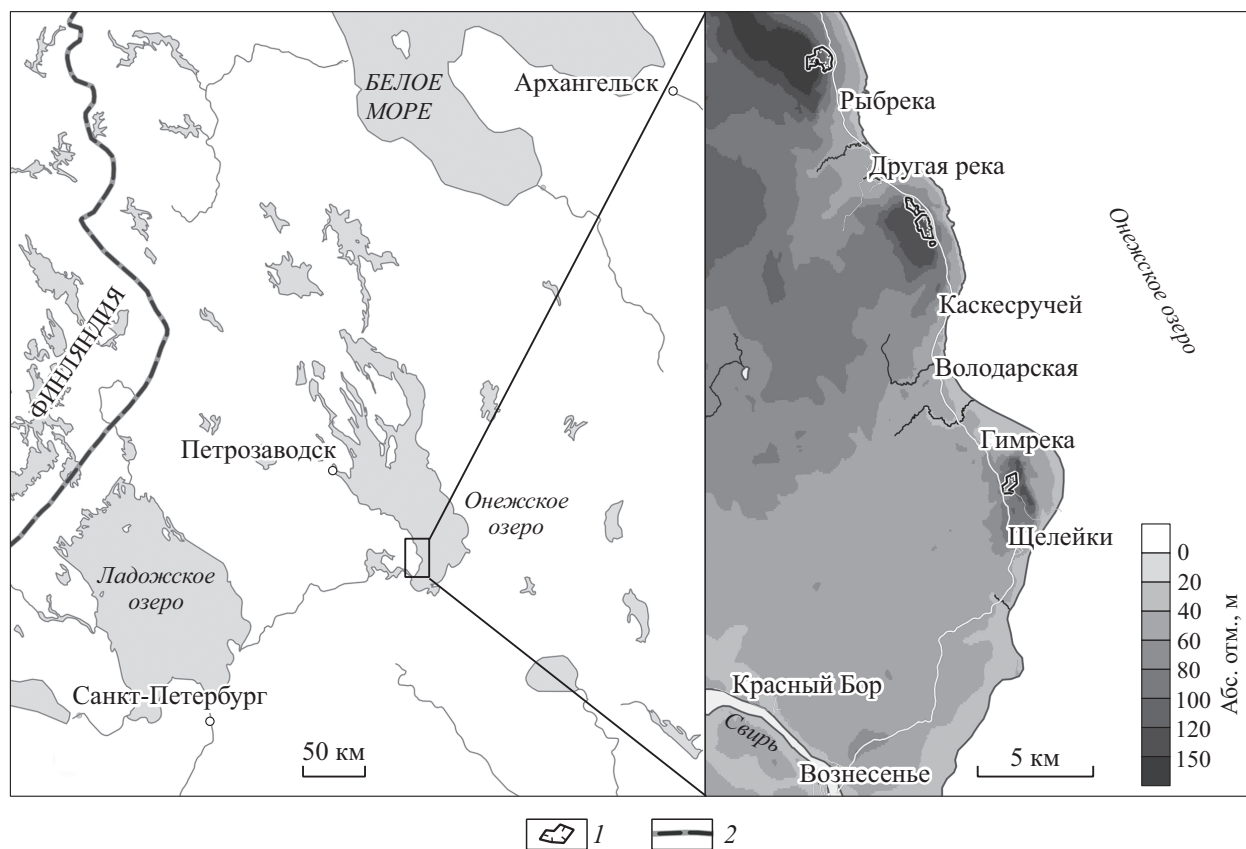


Рис. 1. Обзорная схема расположения района исследования.

1 — карьеры по добыче щебня; 2 — государственная граница.

центра «Карельский научный центр Российской академии наук». С помощью квадрупольного масс-спектрометра X-Series 2 (Thermo Fisher Scientific) определено содержание различных микроэлементов в пробах. Методика анализа и достоверность получаемых результатов описаны в [16].

Обработка полученных данных проведена с использованием факторного анализа — метода главных компонент. Он представляет собой эффективный способ улучшить понимание геохимических характеристик исследуемых объектов и позволяет из всего многообразия признаков выявить наиболее важные [17].

Дистанционные методы включают обработку зимних космоснимков высокого разрешения. Оценка состояния приземной атмосферы проводится по качеству снежного покрова, так как с распределением частиц, осаждаемых из атмосферы, тесно связаны процессы снеготаяния [18, 19]. Анализ состояния снежного покрова позволяет выявить аэрогенные пути миграции химических элементов во время эксплуатации карьеров. В качестве исходного материала данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) взяты безоблачные снимки Landsat 5 от 16.03.2005 и Landsat 8 от 17.02.2015. При оценке качества снежного покрова в пределах различных техногенных объектов многие исследователи используют отражательные характеристики подстилающей поверхности [20, 21]. В [22] разработана методика применения дистанционных методов в мониторинге трансформации снежного покрова на урбанизированных территориях. Данную методику можно интерполировать и на территории воздействия горнодобывающих комплексов.

Изучение состояния снежного покрова проводится на выделенных полигонах мониторинга, представляющих собой открытые участки с обильным снегонакоплением, в пределах которых снег сохраняет естественное состояние в течение всего зимнего периода. Использование таких полигонов обусловлено тем, что значительная доля исследуемой территории залесена, покрыта сетью дороги т. п. Все полигоны проверены на «снежность» по нескольким критериям. Во-первых, показатель снежного покрова — это нормализованный индекс снега NDSI, который рассчитывается как отношение

яркости в зеленом (0,544–0,565 нм) и среднем инфракрасном (1,628–1,652 нм) каналах [21]. Снежные поверхности имеют NDSI >0,4. Во-вторых, коэффициенты отражения в ближнем инфракрасном канале должны быть более 0,11 и в зеленом канале более 0,1 [23].

В качестве основного критерия трансформации рассматривается индекс загрязненности снежного покрова ИЗС [22]:

$$\text{ИЗС} = \frac{\text{Swir1}}{\text{Green}} + \frac{\text{Nir}}{\text{Green}} = \frac{\text{Swir1} + \text{Nir}}{\text{Green}},$$

где Swir1, Nir, Green — коэффициенты отражения в среднем инфракрасном, ближнем инфракрасном и зеленом каналах.

В связи с тем что интенсивность снеготаяния находится в прямой зависимости от количества пылевых частиц [20], а метеорологические условия, по данным архива погоды [24], к моменту получения снимков позволяют говорить о возможности снеготаяния, то индекс NDSI дополнительно используется как критерий оценки качества снежного покрова.

Все манипуляции со снимками проводятся после геометрической привязки и радиометрической калибровки.

Данные по полигонам мониторинга представляют собой основу для построения интерполяционных моделей распределения NDSI и ИЗС на остальную территорию, скрытую от прямого наблюдения. Модели созданы с использованием метода обратно взвешенных расстояний (IDW).

В связи со сложностью выявления безоблачных снимков для наземных и дистанционных исследований выбраны несинхронные временные интервалы. Однако для изучения почвенного покрова этот временной люфт несущественен, так как процесс накопления загрязняющих веществ в почвах происходит на всем протяжении техногенного воздействия, а самоочищение протекает достаточно медленно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам факторного анализа, проведенного по данным ISP-анализа почв, выявлено три фактора, с суммарным вкладом 62 % от общей дисперсии. Факторная нагрузка первого из них, который включает V, Co, Ni, Cu, Sc, составляет 38,9 % (рис. 2, а). Его наибольшие значения распространены преимущественно в районе карьеров поселков Рыбрека и Другая река. Данный фактор формируется за счет наследования химического состава почв от габбродолеритового силла. Второй фактор объединяет Ba, Sn, (–Cd). Его факторная нагрузка составляет 17,9 %. Наибольших положительных значений он достигает в районе пос. Другая река. Также положительные значения фактора выявлены вдоль дороги, по которой происходит транспортировка щебня к причалу пос. Рыбрека. Повышенные содержания Cd характерны для точек вблизи карьеров поселков Рыбрека и Другая река. Ассоциация элементов Pb, Sb, Zn включается в третий фактор с нагрузкой 14,7 %. Повышенные содержания этих элементов типичны для селитебных территорий. Максимальные значения фактора выявлены вдоль автодороги в поселках Рыбрека и Другая река. Анализ факторов и пространственное распределение факторных нагрузок показывают, что первые два из них формируются за счет природного геохимического фона, а также связаны с попаданием в почвы пыли с карьеров.

Оценка атмосферного распределения химических элементов с пылевыми частицами возможна при исследовании химического состава снежного покрова. Так, по результатам факторного анализа снега подтверждена ассоциация элементов V, Cr, Co, Ni, Sc — фактор 1, его нагрузка составляет 42,3 %. Высокие концентрации данных элементов выявлены в непосредственной близости от Рыбрецкого карьера, при этом их содержание в снеге угасает с удалением от него (см. рис. 2, б). Максимальные значения факторов группы элементов — Cu, Cr (–Ba, –Sn) обнаружены непосредственно в снеге рядом с карьером. Группа Zn, Sb, Cd максимально проявлена в жилой зоне в пос. Другая река.

Таким образом, факторный анализ показывает, что ассоциации элементов, содержащиеся в коренных породах, обнаруживаются в почвах и в снежном покрове, преимущественно вблизи карьеров.

В связи с тем что выявлена общая закономерность распределения химических элементов в почве и снеге, предпринята попытка изучить распространение карьерной пыли с использованием данных дистанционного зондирования. Следует отметить, что данный метод отражает общую запыленность. Так как на данной территории отсутствуют другие глобальные источники загрязнения природной среды, полученные результаты в большей мере должны быть соотнесены с горнодобывающими объектами. По данным зимних снимков, для каждого полигона вычислены показатели ИЗС. Средние значения

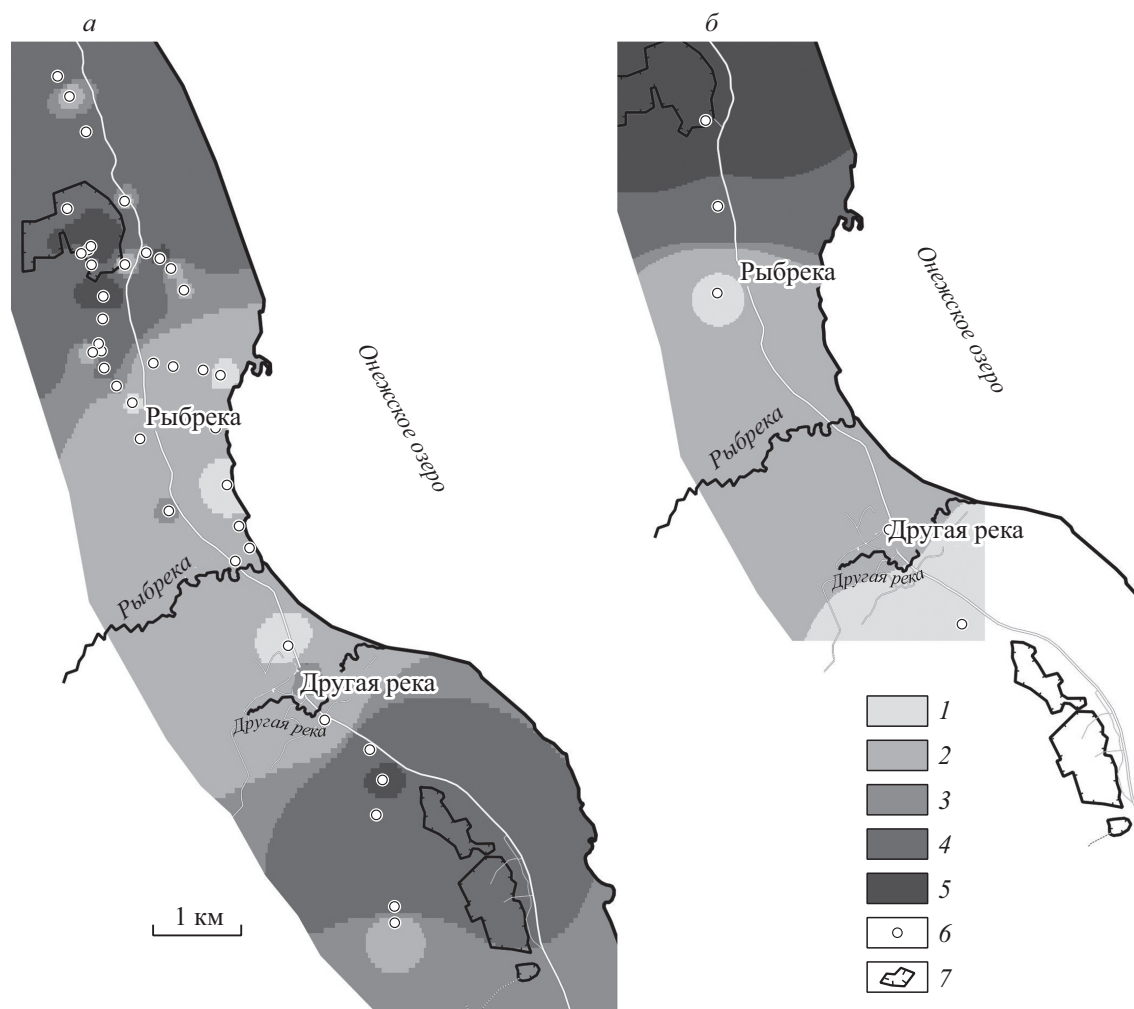


Рис. 2. Модели пространственного распределения факторных нагрузок для первого фактора по геохимическим данным почв (а) и снега (б).

Значения факторов: 1 — $\leq -0,5$; 2 — $-0,5 \div -0,05$; 3 — $-0,05 \div 0,05$; 4 — $0,05 \div 0,5$; 5 — $> 0,5$. 6 — точки отбора проб; 7 — карьеры.

ИЗС в 2005 и 2015 гг. несколько различаются (1,33 и 1,22 соответственно). Коэффициенты вариации для двух сравниваемых годов также неодинаковы. В 2015 г. наблюдается больший разброс значений, коэффициент вариации равен 9 %, для значений 2005 г. — 4 %. Как отмечалось выше, контрастность спектральных признаков для чистого и загрязненного снега выше для тающего снега. В связи с этим проанализированы данные архива погоды [21] за последнюю неделю до съемки. Средняя температура воздуха в 2015 г. составляла -4°C , максимальная — $-3,9^{\circ}\text{C}$, в 2005 г. средняя температура — -10°C , максимальная — $-4,5^{\circ}\text{C}$, т. е. на дату съемки в 2015 г. начаты процессы снеготаяния.

Несмотря на различия, наибольшие значения ИЗС (на 2005 и 2015 гг.) фиксируются в пос. Рыбрека, вокруг Другорезецкого карьера, в зоне влияния карьера пос. Шелейки (рис. 3, а, в). Индекс NDSI также фиксирует техногенные объекты низкими показателями. В ходе анализа пространственного распределения значений ИЗС и NDSI за 2005 и 2015 гг. была отмечена примерно 1,5–2-километровая зона влияния карьера. При этом видно неравномерное распределение индекса относительно карьера. Это связано, в первую очередь, с ветровым режимом, рельефом местности, растительным покровом.

Наблюдение влияния ветрового режима заметно при сопоставлении моделей, составленных за месячный период до получения космоснимка, и розы ветров. Так, для данной местности характерны ветра преимущественно западных направлений. Однако по данным [24], в 2015 г. наиболее частыми были ветра, дующие с востока. В связи с этим зона загрязнения снежного покрова вытянута внутрь суши.

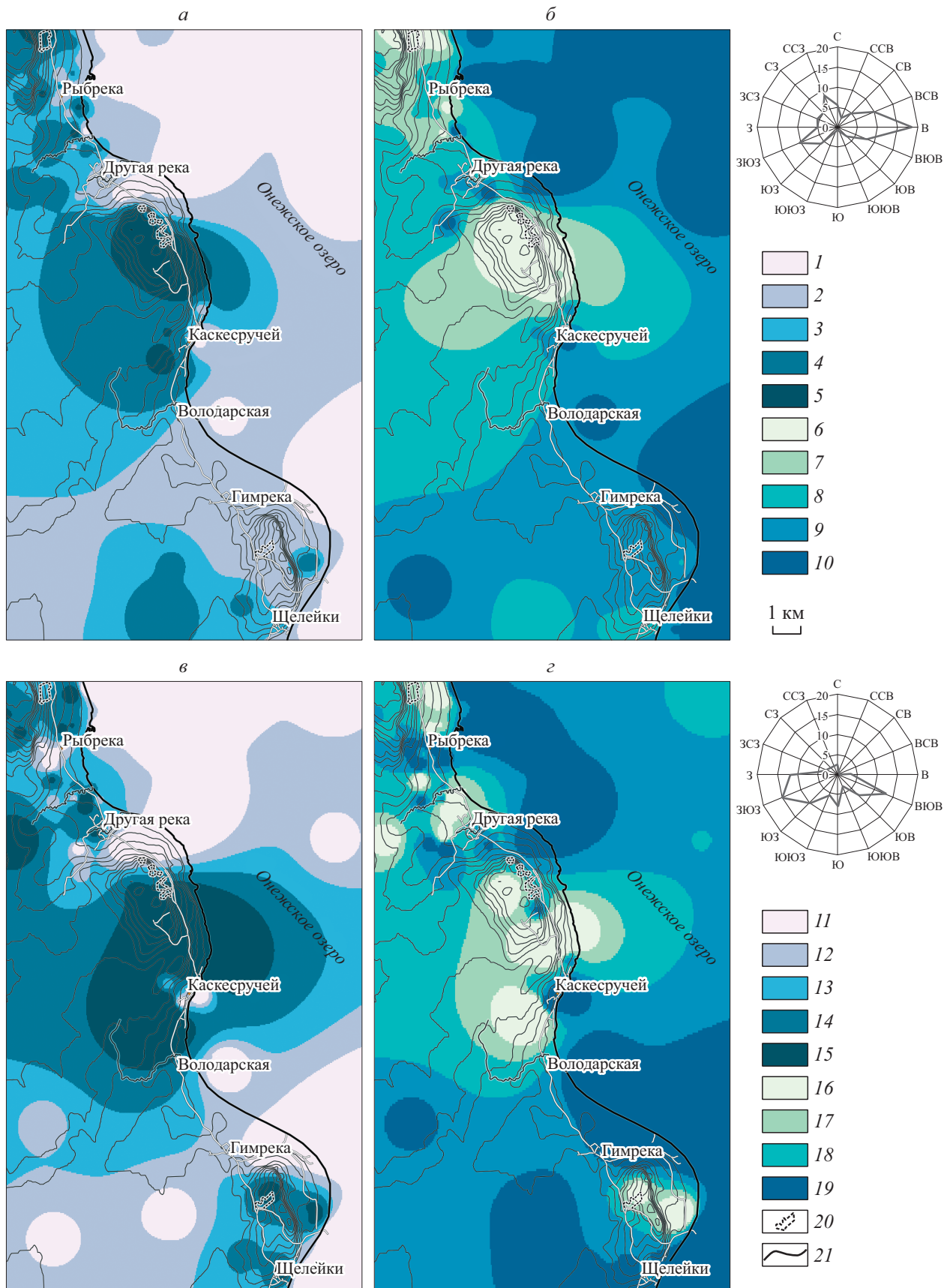


Рис. 3. Интерполяционные модели загрязнения снежного покрова по ИЗС (а, в) и нормализованный индекс снега — NDSI (б, г) на 2005 и 2015 гг. Роза ветров рассчитана за период 16.02–16.03.2015 г. по данным метеостанции Петрозаводск и за период 17.02–17.03.2015 г. по метеостанции Вознесенье.

Данные на 16.03.2005 г. ИЗС: 1 — $\leq 1,31$; 2 — 1,31–1,34; 3 — 1,34–1,35; 4 — 1,35–1,38; 5 — $> 1,38$. NDSI: 6 — $\leq 0,6$; 7 — 0,6–0,62; 8 — 0,62–0,63; 9 — 0,63–0,64; 10 — $> 0,64$. Данные на 17.02.2015 г. ИЗС: 11 — $\leq 1,23$; 12 — 1,23–1,25; 13 — 1,25–1,27; 14 — 1,27–1,3; 15 — $> 1,3$. NDSI: 16 — $\leq 0,8$; 17 — 0,8–0,81; 18 — 0,81–0,82; 19 — 0,82–0,83; 20 — $> 0,83$. 21 — карьеры; 22 — изолинии рельефа.

Широкий ореол распространения пыли в пределах Другорецких карьеров тесно связан с рельефом местности. Карьеры здесь расположены на наивысших абсолютных отметках, перемещению пыли ничего не препятствует. Для пыли Рыборецкого карьера, напротив, открыты лишь восточные и южные направления, так как он находится на восточном склоне возвышенности. Это отражено и в спектральных индексах. Небольшой контур загрязнения снега в карьере пос. Щелейки обусловлен тем, что он размещен на западном склоне возвышенности, и преобладающие ветра дуют с запада на восток. В связи с этим разнос пыли на дальние расстояния здесь ограничен.

Необходимо отметить, что ИЗС рассматривается как относительная величина. Разновременные сравнения по абсолютным значениям не корректны. Это связано с различными показателями, влияющими на его абсолютное значение, например, степень таяния снега, освещенность и др. Однако для выявления общих путей аэрогенного переноса загрязнения данная методика вполне уместна. Изучение медико-биологических характеристик не входило в задачи данного этапа исследования, однако представляет собой его логическое продолжение как основу для геоэкологической оценки данного района, которая базируется на зависимости экологических показателей от изменения параметров среды, описанных дистанционными методами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование факторного анализа при изучении геохимических особенностей территории позволяет выявить факторы, оказывающие влияние на накопление элементов в компонентах природной среды, определить геохимические ассоциации и оценить их пространственное распределение.

Сочетание полевых и дистанционных методов исследования дает более полную картину трансформации природных сред. Так, данные наземных исследований позволили выявить ассоциации элементов, формирующих геохимические неоднородности в почвах и снежном покрове, с помощью данных дистанционного зондирования обнаруживается распространение пылевых выпадений.

Пространственное распределение пыли от горных выработок, разрабатываемых открытым способом, зависит от климатических и морфологических характеристик. Направление преобладающих ветров формирует ориентацию зоны воздействия. Рельеф играет роль ограничивающего фактора перемещения и аккумуляции пыли.

В связи с высоким пространственным разрешением (15–30 м) миссия Landsat является приемлемой для изучения изменений природной среды в пределах горнодобывающих территорий. Использование разновременных данных позволяет изучать пространственно-временную динамику изменений природной среды. Использование данной методики позволяет осуществлять малозатратный мониторинг воздействия горнодобывающих предприятий.

Работа выполнена при финансовом обеспечении из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Карельского научного центра РАН (АААА-А18-118020690231-1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абалаков А.Д., Базарова Н.Б. Картографическая оценка воздействия горнодобывающей промышленности на окружающую среду в бассейне озера Байкал // География и природ. ресурсы. — 2015. — № 3. — С. 64–73.
2. Беляев А.М. Оценка эколого-геохимической опасности месторождений полезных ископаемых // Вестн. Санкт-Петерб. ун-та. Сер. 7. Геология. География. — 2011. — № 3. — С. 43–48.
3. Гаев А.Я., Альбакасов Д.А., Гацков В.Г., Блинов С.М., Михайлов Ю.В., Алферова Н.С., Белан Л.Н. Геоэкологические задачи в горнодобывающих районах (на примере Оренбуржья) // Вестн. Оренбург. ун-та. — 2006. — Т. 2, № 6. — С. 94–101.

4. Пузанов А.В., Бабошкина С.В., Робертус Ю.В., Горбачёв И.В., Любимов Р.В. Формирование техногенных ландшафтов и загрязнение окружающей среды под влиянием горнодобывающих предприятий Алтая // Мир науки, культуры и образования. — 2007. — № 1 (4). — С. 5–10.
5. Ханчук А.И., Крупская Л.Т., Зверева В.П. Экологические проблемы освоения оловорудного сырья в Приморье и Приамурье // География и природ. ресурсы. — 2012. — № 1. — С. 62–67.
6. Шайхиев И.Р., Рихванов Л.П. Эколого-геохимические исследования природных сред района Бакчарского железорудного месторождения (Томская область) // Изв. Том. политехн. ун-та. — 2015. — Т. 326, № 5. — С. 62–78.
7. Баранова М.Н., Чумаченко Н.Г., Тюриков В.В. Геоэкологические проблемы при карьерной добыче минерального сырья для производства строительных материалов // Вестн. Самар. архитектур.-строит. ун-та. Градостроительство и архитектура. — 2014. — № 1 (14). — С. 80–84.
8. Bluvshstein N., Mahrer Y., Sandler A., Rytwo G. Evaluating the impact of a limestone quarry on suspended and accumulated dust // Atmospheric Environment. — 2011. — Vol. 45, Is. 9. — P. 1732–1739.
9. Sairanen M., Rinne M., Selonen O. A review of dust emission dispersions in rock aggregate and natural stone quarries // International Journ. of Mining, Reclamation and Environment. — 2017. — Vol. 32, N 3. — P. 196–220.
10. Голик В., Дмитрак Ю., Мулухов К., Вернигор В. Пылевое загрязнение при открытой разработке месторождений // Экология и промышленность России. — 2018. — № 22 (6). — С. 30–34.
11. Hilary I.I., Sunyoung B. Impacts of dust on environmental systems and human health // Journ. of Hazardous Materials. — 2006. — Vol. 132, Is. 1. — P. 5–6.
12. Becklake M.R. The mineral dust diseases // Tubercle and Lung Disease. — 1992. — Vol. 73, Is. 1. — P. 13–20.
13. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Республике Карелия: Государственный доклад. — Петрозаводск: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Карелия, 2013. — 202 с.
14. 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. Т. 2: Отчет о научно-исследовательской работе / Под ред. О.В. Томилиной, С.Ф. Паламчука, Э.Я. Яхнина, А.И. Егорова. — СПб.: ГГУП СФ «Минерал», 2004. — 146 с.
15. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами / Сост. Б.А. Ревич, Ю.Е. Саег, Р.С. Смирнова, Е.П. Сорокина. — М.: Изд-во Ин-та минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, 1982. — 112 с.
16. Светов С.А., Степанова А.В., Чаженгина С.Ю., Светова Е.Н., Рыбникова З.П., Михайлова А.И., Парамонов А.С., Утицына В.Л., Эхова М.В., Колодей В.А. Прецизионный (ICP-MS, LA-ICP-MS) анализ состава горных пород и минералов: методика и оценка точности результатов на примере раннедокембрийских мафитовых комплексов // Труды Карел. научного центра РАН. — 2015. — № 7. — С. 54–73.
17. Wang J., Zuo R., Caers J. Discovering geochemical patterns by factor-based cluster analysis // Journ. of Geochemical Exploration. — 2017. — Vol. 181. — P. 106–115.
18. Василевич М.И., Шанов В.М., Василевич Р.С. Применение спутниковых методов исследований при оценке загрязнения снежного покрова вокруг промышленных предприятий в тундровой зоне // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2015. — Т. 12, № 2. — С. 50–60.
19. Kokhanovsky A. Spectral reflectance of solar light from dirty snow: a simple theoretical model and its validation // The Cryosphere. — 2013. — Vol. 7, N 4. — P. 1325–1331.
20. Дмитриев А.В., Дмитриев В.В. Корреляция динамики снеготаяния и содержания пылевых веществ в снегу вокруг г. Омска // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2008. — Т. 1, № 5. — С. 84–91.
21. Сухинин А.И., Воробьёва М.В., Охоткина Е.А. Космический мониторинг снегового покрова Сибири по данным радиометра MODIS // Вестн. Сиб. аэрокосм. ун-та. — 2011. — № 4. — С. 90–96.
22. Крутских Н.В., Кравченко И.Ю. Использование космоснимков Landsat для геоэкологического мониторинга урбанизированных территорий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2018. — № 2. — С. 159–168.
23. Hall D.K., Riggs G.A., Salomonson V.V., DiGirolamo N.E., Bayr K.J., Jin J.M. MODIS snow-cover products // Remote Sens. Environ. — 2002. — Vol. 83, N 1–2. — P. 181–194.
24. Архив погоды [Электронный ресурс]. — <https://rp5.ru> (дата обращения 29.01.2018).

Поступила в редакцию 06.02.2019

После доработки 23.04.2020

Принята к публикации 25.09.2020