

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 502/550.4

DOI: 10.15372/GIPR20230405

В.В. ДЬЯЧЕНКО, В.Г. ШЕМАНИН, В.В. ВИШНЕВЕЦКАЯ

Новороссийский политехнический институт (филиал)
Кубанского государственного технологического университета,
353900, Новороссийск, ул. Карла Маркса, 20, Россия,
v-v-d@mail.ru, shemanin@mail.ru, stas_14@rambler.ru

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕНЕЗА И ГЕОХИМИИ АЭРОЗОЛЕЙ НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ ЮГА РОССИИ

Рассмотрены результаты исследования геохимии почв юга России, оценки загрязнения атмосферы и состояния здоровья населения некоторых городов Краснодарского края и Ростовской области. На протяжении более 30 лет проводилось неоднократное опробование почвы различных регионов (более 10 тыс. проб), населенных пунктов (около 3 тыс. проб), что позволило комплексно оценить состояние окружающей среды крупной биосферной структуры, где проживает почти 20 % населения России. Установлено повышение уровня загрязнения атмосферы, концентраций химических элементов в почвах. Выявлено негативное воздействие аэрозольного загрязнения на здоровье населения, что ведет к увеличению количества заболеваний верхних дыхательных путей. Самая высокая степень загрязнения воздуха аэрозолями на юге России отмечается в Новороссийске. Согласно результатам трехмерного анализа, максимальные показатели заболеваемости и смертности новорожденных выявлены в зонах со старой 1–2-этажной застройкой, минимальные — в зонах многоэтажной застройки. Показано, что заболеваемость населения снижается по мере увеличения этажа проживания. Подобное распределение заболеваемости свидетельствует о высоком уровне аэрозольного загрязнения атмосферы. В подтверждение токсичности загрязнения воздуха городов проведена эколого-геохимическая оценка твердой части аэрозолей в сравнении с природными дефляционными аэрозолями. Выявлены геохимические особенности различных источников аэрозолей в атмосферном приземном слое. Установлено, что техногенные аэрозоли обогащены рядом химических элементов, но особенно интенсивно полиметаллами Ag, Pb, Cu и Zn — элементами, которые не характерны для местной геологической обстановки и промышленной специфики.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, микроэлементы, почва, распределение заболеваемости, мониторинг.

V.V. DYACHENKO, V.G. SHEMANIN, V.V. VISHNEVETSKAYA

Novorossiisk Polytechnic Institute (Branch), Kuban State Technological University,
353900, Novorossiisk, ul. Karla Marksa, 20, Russia,
v-v-d@mail.ru, shemanin@mail.ru, stas_14@rambler.ru

INFLUENCE OF TECHNOGENESIS AND GEOCHEMISTRY OF AEROSOLS ON THE STATUS OF ENVIRONMENT AND PUBLIC HEALTH IN THE SOUTH OF RUSSIA

This article is devoted to the analysis of the results from investigating the soil geochemistry in the south of Russia, and assessing atmospheric pollution and the status of public health in some of the cities of Krasnodar krai and Rostov oblast. The research has been made for more than 30 years, including repeated tests of the soils (more than 10 000 samples) and settlements (about 3000 samples), and comprehensive assessments of the state environment of a large biosphere structure where almost 20 % of the population of Russia lives. The study revealed an increase in atmospheric pollution, concentrations of chemical elements in soils, and the negative impact of pollution on public health. The geochemistry of air pollution has a particularly strong effect on the increase in diseases of the upper respiratory tract. The highest degree of air pollution by aerosols in the south of Russia is noted in Novorossiisk. A three-dimensional analysis shows that the maximum percentage of diseases and increased mortality of newborns

was detected in areas with old 1–2-storey buildings, and the minimum percentage of diseases in areas of multi-storey buildings. It is shown that the sickness rate in the population decreases with an increase in the storey of residence. Such a distribution of morbidity indicates a high level of atmospheric aerosol pollution. To confirm the toxicity of air pollution in cities, an ecological-geochemical assessment of the solid part of aerosols was made in comparison with natural deflationary aerosols. Geochemical features of various sources of aerosols in the atmospheric surface layer are revealed. It has been established that technogenic aerosols are enriched with a number of chemical elements, but especially intensively with Ag, Pb, Cu and Zn elements, polymetals that are not characteristic for the local geological situation and industrial specifics.

Keywords: *atmospheric pollution, trace elements, soil, distribution of morbidity, monitoring.*

ВВЕДЕНИЕ

Современные геоэкологические проблемы, обусловленные влиянием разных факторов, можно объединить в три большие группы. Первая включает потерю биологического разнообразия, уменьшение площади естественных ландшафтов. Ко второй, не менее глобальной группе, можно отнести загрязнение окружающей среды. Третья группа охватывает процессы физико-механической трансформации Земли — перераспределение вещества и напряжений в земной коре вследствие извлечения полезных ископаемых, создания водохранилищ, транспортировки грузов, интенсификации дефляции, перемещающей миллионы тонн грунта и др. Результатом техногенного преобразования являются изменение климата и географии болезней, снижение потенциала самоочищения и устойчивости биосферы, появление новых вирусов, расширение факторов негативного воздействия на людей и др.

К такой экологической трансформации окружающей среды человеческая популяция оказалась не готова. Неслучайно лидерами по заболеваемости COVID-19 длительное время были США, Великобритания, Франция, Италия, а свыше 30 % выявленных в мире случаев онкологических заболеваний приходится на страны с наиболее высокими стандартами здравоохранения — государства, входящие в Европейский союз, в которых проживает менее 10 % населения Земли [1]. В некотором смысле пандемию можно рассматривать как проявление отрицательных обратных связей в биосфере. Земля «защищается» от негативных последствий нашего хозяйствования, ставящего под вопрос устойчивое развитие биосферы, да и цивилизации в целом. Ведь только в течение 2019 г., по данным Европейского агентства по защите окружающей среды (ЕАОС) [1], в Европе умерло более 400 тыс. чел. от загрязнения окружающей среды, а от воздействия шума — более 12 тыс. чел. Более поздняя статистика об экологических причинах смертности не используется в связи со снижением ее достоверности из-за пандемии COVID-19. Высокая концентрация мелкодисперсных твердых частиц и различных веществ в воздухе серьезно увеличивает нагрузку на здравоохранение [1]. Все эти проявления в той или иной степени затрагивают большинство стран мира, включая Россию.

Цель данной работы — оценка техногенной трансформации крупной биосферной структуры и влияния геохимии техногенеза на здоровье жителей городов юга европейской части России, население которого составляет более 28 млн чел. (почти 20 %) населения РФ. Развитие региональных геоэкологических проблем рассмотрено в последовательности их формирования: редукция биосферы, загрязнение окружающей среды, ухудшение здоровья людей.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Данная работа основана на обобщении эколого-геохимических исследований юга России, начатых под руководством В.И. Седлецкого и В.А. Алексеенко еще в конце 1970-х — 1980-х гг., в которых, будучи студентом, принимал участие один из авторов (В.В. Дьяченко). Это позволило оценить масштабы эколого-геохимической трансформации региона в течение длительного периода. Первыми результатами исследований стало издание атласа Ростовской области [2] и карт геохимических ландшафтов некоторых регионов, подготовленных в сотрудничестве с А.И. Перельманом, который выступил их научным редактором [3, 4]. Это был первый опыт издания серии среднемасштабных карт геохимических ландшафтов, созданных в едином методическом ключе [5], что позволяло проводить сравнительный анализ ландшафтно-геохимических характеристик различных территорий. Позже были составлены карты геохимических ландшафтов, обобщающие работы в различных регионах [6]. Проведение исследований на Прикаспийской низменности (с 2010 г.) позволило создать карту геохимических ландшафтов всего юга России (Южный федеральный и Северо-Кавказский федеральный округа) [7, 8]. Сравнительный анализ результатов картографирования макрорегиона, изучение космоснимков и топографических карт м-ба 1:100 000, изданных в 1960-х гг., позволили оценить степень техногенной трансформации природных ландшафтов и изменения ландшафтно-геохимической структуры.

Все ландшафтно-геохимические исследования сопровождались документированием точек наблюдения и изучением верхнего почвенного горизонта, равномерно опробованного до глубины 15–20 см. Вес каждой пробы около 0,5 кг. Все пробы почв и почвообразующих горных пород проанализированы методом эмиссионной спектроскопии на содержание 19–35 микроэлементов в аккредитованной лаборатории АО «Кавказгеолсъемка» с соблюдением требований внешнего и внутреннего контроля качества лабораторных работ [9]. Для обнаружения лабораторного «дрейфа» проводили повторные анализы ранее взятых проб. В случае неудовлетворительной сходимости или при выявлении резко повышенного содержания пробы анализировали вновь. Основу фактического материала составили образцы, равномерно распределенные по территории с плотностью одна проба на 25–100 км² (исходя из задач исследований и сложности ландшафтно-геохимического строения) и взятые на типичном участке доминирующего в этой местности ландшафта. Площадь региональных исследований включала Южный и Северо-Кавказский федеральные округа, а также Воронежскую область и составила почти 650 тыс. км². Такие регионы, как Краснодарский край и частично Ростовская область, опробовались дважды. В итоге база данных включает около 10 тыс. проб.

Параллельно с региональными исследованиями с 1990-х гг. проводилась и оценка состояния некоторых городов юга России: Ростова-на-Дону, Таганрога, Краснодара, Новороссийска, Геленджика [10, 11]. Она заключалась в картографировании, а также в литохимическом и биогеохимическом опробовании населенных пунктов. Ввиду очень высокой техногенной нагрузки (цементные заводы, порт, транспорт) и размещения в рекреационной зоне, наиболее детально изучен Новороссийск и его окрестности (около 2 тыс. точек наблюдения). Здесь, а также в Геленджике, проводилось изучение здоровья населения. Данные собраны сотрудниками поликлиник по материалам изучения 3130 медицинских карточек и обработаны под руководством врача-эпидемиолога Д.Б. Герасименко [12, 13].

Анализ техногенной нагрузки на город и распределения заболеваемости позволил заключить, что основным токсичным фактором могут быть аэрозоли. Для их исследования в последние годы нами ведется опробование и изучение городской пыли путем сбора смывов с современных окон (под открывающимися створками), включая многоэтажные здания (самая высокая точка — 18-й этаж). Размеры частиц — до 0,5 мм. В отсутствие длительного снежного покрова и частых сильных ветров этот метод позволяет получить объективные сведения о геохимии аэрозолей, попадающих в помещения. В этом убеждают результаты повторного опробования (спустя год, в тот же сезон — весной), в ходе которого подтвердилась геохимическая специфика как городских аэрозолей в целом, так и аэрозолей с отдельных пунктов опробования (с высоким содержанием Sb, Bi и др.). Собранная твердая часть аэрозолей вместе с почвами, почвообразующими породами и цементом была подвергнута исследованию для определения содержания микроэлементов и микроскопическому анализу (микроскоп МБИ-15У42). Всего изучена 41 проба пыли. Для выявления геохимических особенностей потенциальных дефляционных аэрозолей проведен сравнительный анализ 51 пробы почв в целом и ее наиболее летучей фракции (мельче 0,1 мм, выделенной ситовым методом).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Геоэкологические проблемы юга РФ и геохимические последствия. Активное хозяйственное освоение региона привело к тому, что в настоящее время естественные ландшафты в равнинной части практически уничтожены. Более 70 % территории юга России распаханно, и всего лишь 15 % площади условно можно считать биогенными ландшафтами или их антропогенными модификациями. Даже в горной части к природным ландшафтам можно отнести не более 35 % площади. Результаты картографирования [8] показывают, что только 59 из 232 ландшафтов юга РФ относятся к природным, остальные в той или иной степени нарушены или созданы человеком. Десятки в недалеком прошлом крупных естественных ландшафтов являются исчезающими или уже исчезли. Для юга России, и особенно Краснодарского края, давно актуально создание Красной книги биогеоценозов (ландшафтов).

На основании ландшафтно-геохимического картографирования, изучения космоснимков и старых топографических карт нами установлено, что площадь природных ландшафтов Краснодарского края — основного рекреационного региона России — только за последние 50–60 лет уменьшилась не менее чем на 7 тыс. км², или на 30 % [14]. При этом увеличилась площадь сельскохозяйственных и урбанизированных ландшафтов (рис. 1, 2). Эколого-геохимический анализ сохранившихся лесов Кавказа показал, что по всем рассмотренным параметрам худшими являются наиболее освоенные к началу XXI в. территории: Анапа — Новороссийск — Геленджик — Крымск, Горячий Ключ — Белореченск —

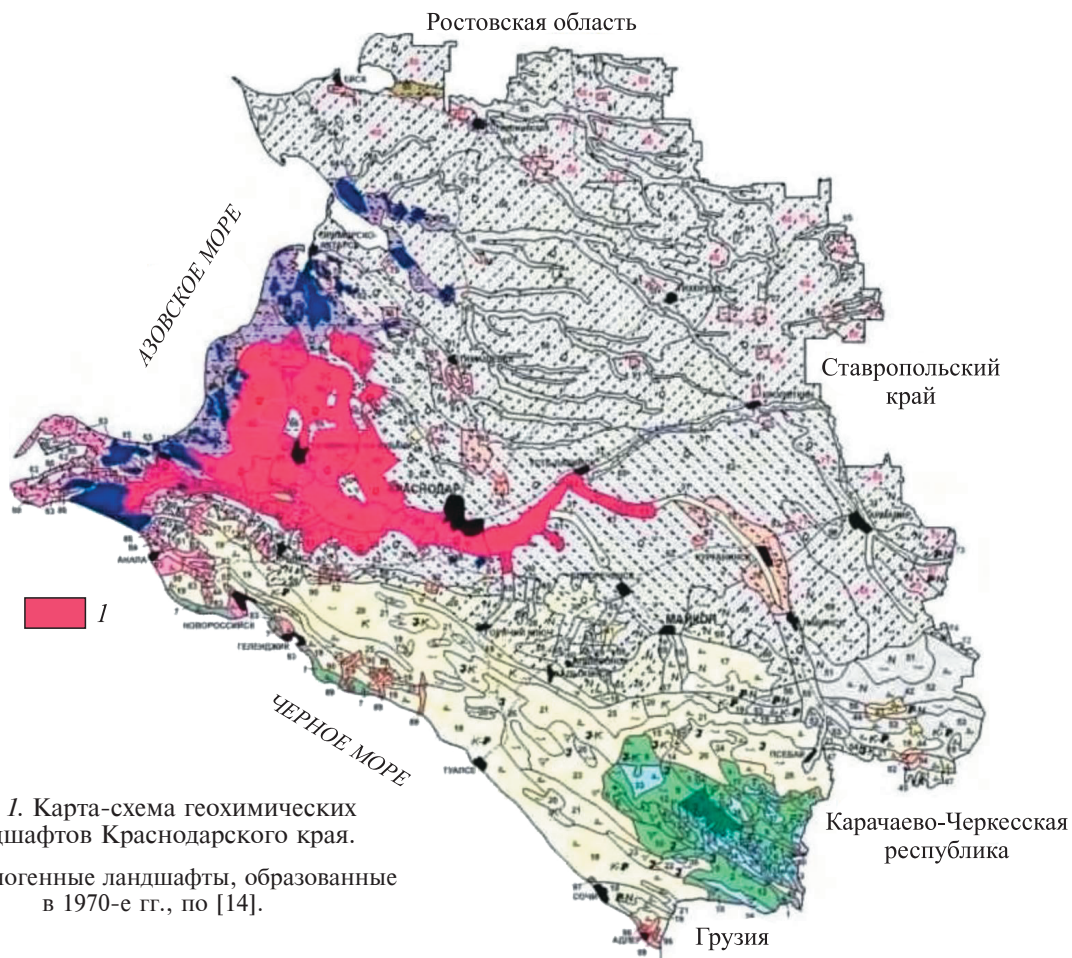


Рис. 1. Карта-схема геохимических ландшафтов Краснодарского края.

1 — техногенные ландшафты, образованные в 1970-е гг., по [14].

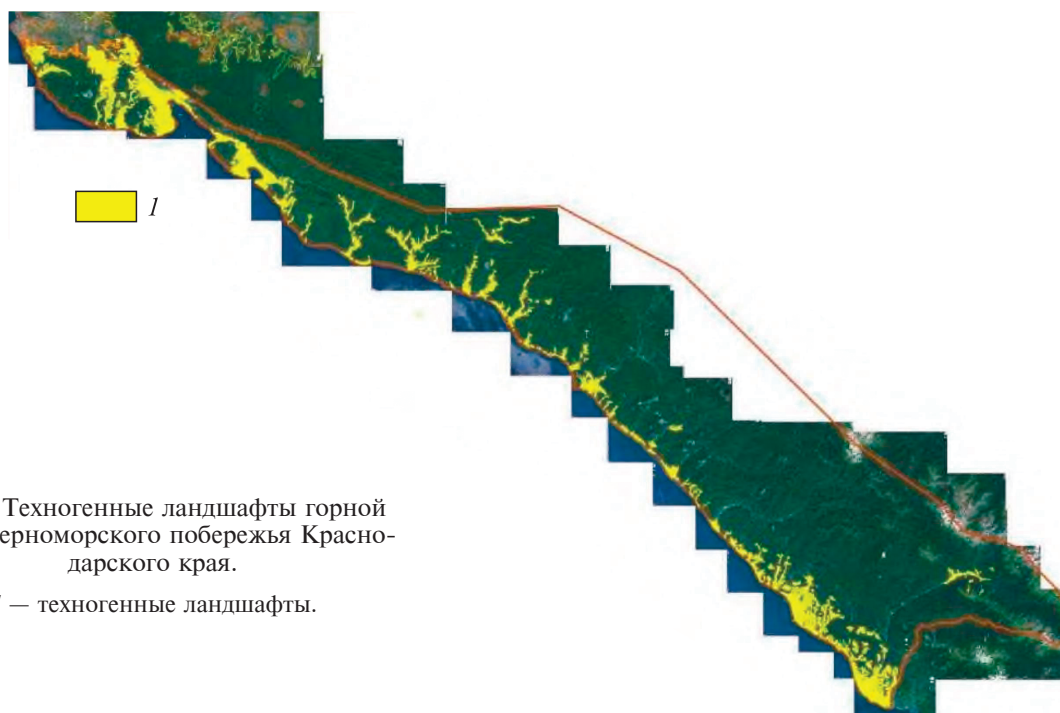


Рис. 2. Техногенные ландшафты горной части Черноморского побережья Краснодарского края.

1 — техногенные ландшафты.

Нефтегорск. Здесь самое большое количество аномалий химических элементов в почвах, связанных с загрязнением, самая высокая степень нарушенности лесных ландшафтов (до 40 % площади) и худшие параметрические и санитарные характеристики растительного покрова [6].

Техногенная трансформация биосферы меняет и химию окружающей нас среды. Мониторинг содержания химических элементов в почвах обнаруживает существенное изменение концентраций микроэлементов в течение последних десятилетий. Наиболее динамично (в 1,2–2,4 раза) во всех регионах и ландшафтах увеличилось содержание W, Zn, Cr, Pb, Ni. Повышение концентраций V, Sn, Sr, Co, Ag, Cu происходило менее интенсивно (в 1,1–1,5 раза). Контрастной динамикой в различных ландшафтах характеризуются P, Mo, Mn, V (где-то снижение, а где-то интенсивное повышение содержания) [6, 15, 16].

Не должны вводить в заблуждение не очень значительные изменения концентраций некоторых элементов. Данные закономерности выявлены на основе анализа динамики их фоновых концентраций в верхней части почвенного профиля крупной биосферной структуры за сравнительно короткий срок (30–40 лет в разных регионах). Поэтому увеличение содержания даже на 10–20 % означает накопление в почвах десятков и сотен тысяч тонн тяжелых металлов, металлоидов и других химических элементов. Учитывая загрязнение нижележащих почвенных горизонтов, а также более высокий уровень содержания тяжелых металлов в зонах интенсивного техногенного воздействия и в городах [6, 10, 11], мы оцениваем динамику загрязнения юга РФ как близкую к катастрофической.

Загрязнение, «металлизация», почв характерно для всего земного шара и проявляется в изменении даже таких консервативных величин, как кларки почв. Если кларки и субкларковые величины, рассчитанные различными авторами, расположить по времени их реального определения, то обнаружится, что концентрации наиболее технофильных микроэлементов с 1950-х гг. увеличиваются (15 из 25 рассмотренных), многих из них — практически последовательно (Zn, Cu, Pb, Ba, Co, Sc и др.). В последние годы данная тенденция ослабевает и ярко проявляется только в наиболее техногенно трансформированных регионах с высоким содержанием гумуса в почвах (Краснодарский край) (табл. 1).

Загрязнение почв происходит не только за счет промышленных предприятий. Оно может формироваться и вследствие применения некоторых сельскохозяйственных технологий [21, 22]. Например, в Краснодарском крае к загрязнению Zn, Ni, Pb, обнаруженному в 1980-х гг. в почвах рисовников, спустя 10–15 лет добавились аномалии Ti, Mo, Sc, Mn, Sn, а в садах и виноградниках к аномалиям Mo, Co и Cu добавились таковые Be, Ag, Sn, Sc, Ti, Mn (отчасти в результате расширения перечня анализируемых элементов за счет Sc и Be). Растет площадь, контрастность и комплексность аномалий в почвах вокруг Краснодара, населенных пунктов Черноморского побережья и т. д. Очевидно, что агрохимические мероприятия по повышению урожайности, интенсификация обработки почв, особенно интродуцированных культур [6], не проходят бесследно и приводят к загрязнению окружающей среды. В работе [23] установлено, что только за счет внесения минеральных удобрений концентрации некоторых элементов, плохо поглощаемых растениями, могут удваиваться в почвах через 20–30 лет.

Таблица 1

**Сравнение среднего содержания химических элементов
в почвах юга России с кларками почв мира и регионов ($n \cdot 10^{-3} \%$)**

Элемент	Кларки почв мира			Региональные кларки			
	по А.П. Виноградову (1957 г.) [17]	по А. Кабате-Пендиас и др. (1979 г.) [18]	по А.Б. Ронову, А.А. Ярошевскому (2000 г.)* [16]	почвы США, по Х.Т. Шеклетту и др. (1984 г.) [19]	почвы Северного Кавказа, по В.В. Дьяченко (2004 г.) [6]	почвы Краснодарского края, по данным В.В. Дьяченко (2016 г.)**	почвы юга России, по В.В. Дьяченко и др. (2016 г.) [20]
Ba	50,0	21,0–63,0	50,0	58,0	72,0	73,4	68,0
Zn	5,00	6,00	6,00	6,00	10,6	12,4	10,3
Cu	2,00	2,0–3,0	2,30	2,50	5,10	6,00	5,16
Pb	1,00	2,50	2,00	1,90	3,50	3,90	3,35
Co	0,80	0,85	0,90	0,91	2,01	2,20	2,00
W	0,13	0,07–0,27	0,10	0,12–0,25	0,22	0,27	0,22

* Данные впервые опубликованы в [16].

** Данные, полученные в 2016 г., приводятся впервые в настоящей работе.

Вследствие высокой плотности населения, большого количества отдыхающих, применения интенсивных сельскохозяйственных технологий, большого объема транспорта, Краснодарский край является территорией с очень высокой техногенной нагрузкой. Это отражается и на загрязнении почв (см. табл. 1). Наиболее активное накопление (за 25 лет) характерно для Pb (15–20 %) и Ba (30–40 %) в почвах Сочинской агломерации, что обусловлено увеличением масштабов строительства при подготовке к Олимпиаде-2014 и потока отдыхающих.

Эти выводы — результат оценки фоновое распределения микроэлементов, а в пределах источников загрязнения (промышленных предприятий, транспортных магистралей, военных объектов, свалок, котельных и пр.) и непосредственно примыкающих к ним зон уровень содержания в почвах химических элементов (включая большинство тяжелых металлов) еще выше (табл. 2). Так, за 40 лет работы металлургических комбинатов на южной окраине Владикавказа концентрация Ni (по самым минимальным оценкам) в почвах разных горных ландшафтов (на удалении до 15–20 км и на высотах до 2000 м) увеличилась в 2,0–2,8 раза, Mo — в 2, V — в 1,3–2,5, Cu — в 1,7–1,9, Zn — в 1,3–2,7 раза. В меньшей степени (в радиусе 5–10 км) повысилось содержание Cr (в 1,2–1,4 раза), Ba (в 1,1–1,2) и Pb (в 1,1 раза). Здесь же обнаружены и повышенные концентрации Cd, содержание которого всегда ниже предела чувствительности анализа ($1 \cdot 10^{-3}$ %) за границами месторождений. Концентрации в почвах Ag, W, Co, Ga, Ge, Sr, Zr, Be также повысились, но их динамику сложно оценить количественно из-за слабой чувствительности анализа в 1960-х гг. [24].

Повышенное содержание микроэлементов в почвах населенных пунктов обусловлено высокой степенью их техногенной трансформации и концентрацией объектов, влияющих на состояние окружающей среды. Интенсивность и специфика загрязнения почв зависят от размеров и геохимических особенностей предприятий, а крупнейшие города юга России загрязнены большинством химических элементов из 25 рассмотренных (рис. 3).

Может возникнуть вопрос: чем вызвано такое пристальное внимание к химическому составу почв, ведь это не продукты питания, вода, воздух, токсичность которых несет непосредственную угрозу людям? Показательность почв для оценки загрязнения обусловлена тем, что они являются консервативной депонирующей средой, длительное время хранящей следы различных воздействий и даже загрязнения воздуха. Долговременное выпадение частиц и различных химических соединений из атмосферы приводит к изменению минералогического, химического и гранулометрического состава почв, формированию загрязнения [6, 23]. Насыщенность гумусированных почв ацидоидами способствует прочному закреплению в них катионов, и прежде всего тяжелых металлов. Опыт почвенно-геохимического картирования свидетельствует, что для получения общего представления об интенсивности загрязнения какого-либо участка сначала можно ограничиться изучением распределения микроэлементов. Причем анализ концентраций микроэлементов имеет значение для обнаружения не только непосредственных агентов загрязнения, но и индикаторов, трассирующих миграционные потоки других поллютантов. Это позволяет без многочисленных и дорогостоящих исследований оперативно выявить и ранжировать источники загрязнения и зоны их воздействия по широкому кругу загрязняющих веществ. Распределение микроэлементов отражает структуру загрязнения почв соединениями серы, азота, органическими и другими веществами, создавая ореол около источника загрязнения или места выпадения поллютантов из миграционного потока [23].

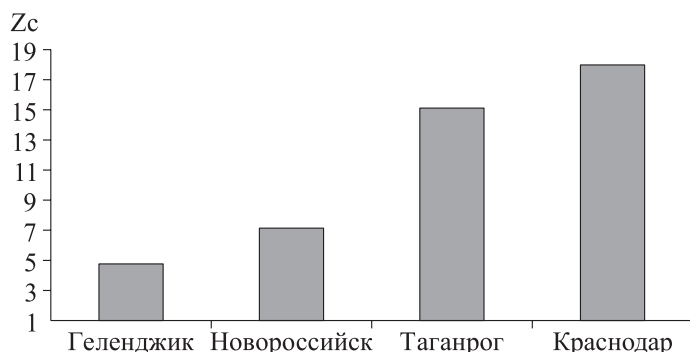


Таблица 2
Среднее содержание тяжелых металлов ($n \cdot 10^{-3}$ %) в почвах населенных пунктов юга России

Элемент	Источники загрязнения	Объекты загрязнения	Региональный кларк почв юга России [20]
Mn	224,2	132,1	85,0
P	95,3	116,5	90,0
Zn	30,1	25,5	10,3
Cr	32,7	14,6	11,5
Cu	8,5	6,8	5,16
Ni	7,3	6,0	4,83
Pb	21,5	13,9	3,35
Sn	0,74	0,70	0,54
Ag	0,17	0,07	0,01

Рис. 3. Показатели загрязнения (Zc) почв крупнейших городов юга России.

Оценка связи заболеваемости населения городов с загрязнением окружающей среды. Об информативности и важности изучения почв для оценки состояния окружающей среды свидетельствуют медико-экологические исследования в различных городах юга РФ. Одновременно с оценкой загрязненности почв изучались показатели заболеваемости и смертности детей и взрослого населения. Наиболее информативной является первая группа, большую часть времени проводящая на ограниченной территории. Поэтому связь между экологической обстановкой в месте проживания и состоянием здоровья детей более устойчивая. Основное внимание уделялось заболеваниям дыхательных путей, так как на неблагоприятные условия окружающей среды в первую очередь реагируют дыхательная и кровеносная системы. Часть материалов на эту тему была представлена ранее [6, 10, 11, 25], поэтому сконцентрируемся на их обобщении, новых данных и основных выводах.

Практически во всех изученных нами населенных пунктах наряду с общим, условно фоновым загрязнением выявляются довольно значительные по площади участки с еще более высокими концентрациями — аномалии, которые выделялись по принятой в геохимии технологии [9]. Для них характерно, с одной стороны, наличие целого комплекса загрязняющих веществ в почвах, растениях, поверхностных водах, а с другой — так называемые ураганные концентрации этих веществ. При этом чем большее количество металлов образует данные зоны и чем значительнее их концентрации, тем выше степень экологического дискомфорта. Естественно, чем интенсивнее загрязнение окружающей среды, тем выше суммарный показатель загрязнения почв (Z_c). Как видно из табл. 3, уровень заболеваемости дыхательной системы детей и трудоспособного населения в загрязненных зонах тесно связан с величиной Z_c , определенной на основе опробования почв.

Как свидетельствуют данные табл. 4, важнейшим фактором загрязнения и повышенной заболеваемости дыхательных систем детей является близость места проживания к промышленной зоне. Однако опасность загрязнения не обязательно зависит от количества элементов. Ранее была выявлена пространственная связь повышенной заболеваемости населения и смертности новорожденных, лейкоцитоза и лейкемии в крови у рожениц и других проблем с моноэлементными аномалиями таких металлов, как Cu, Zn, Pb, Cr, Ge и Sc [12, 13].

Каковы факторы воздействия и механизм проникновения загрязнения в организм людей? Ответ на это дает трехмерный анализ пространственного распределения повышенной заболеваемости. Максимальный процент заболеваний дыхательной системы выявлен в зонах со старой 1–2-этажной застройкой, а минимальный — в зонах многоэтажной застройки. Аналогичная картина наблюдается и при анализе смертности новорожденных (рис. 4). Оценка младенческой смертности проводилась на основании изучения медицинских карточек 1210 женщин, родивших в период проведения геоэкологических исследований на территории Новороссийска (в конце XX—начале XXI в.) [11, 25]. Такое распределение заболеваний обусловлено следующими причинами:

— значительным «возрастом» малоэтажной застройки и, как следствие, длительностью антропогенного воздействия и загрязненности;

Таблица 3

Заболеваемость детей и трудоспособного населения (% от заболевших), проживающих на участках с различным загрязнением почв

Заболевание	Величина Z_c		
	<10	10–20	>20
Дети (Геленджик)			
Все обращения к врачу	10	15	75
ОРВИ	15	15	70
Трудоспособное население (Новороссийск)			
Туберкулез органов дыхания	15	25	60
Пневмония	30	30	40
Плеврит	20	15	65
Бронхит хронический	10	25	65
Бронхит острый	25	30	45
Бронхиальная астма	25	40	35
Рак легкого	0	0	100

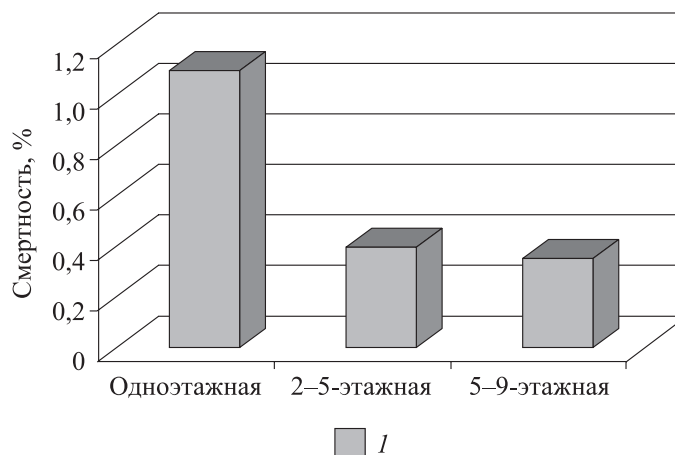
Таблица 4

Заболеваемость (% от заболевших) детей в возрасте от 2 до 14 лет, проживающих на разных участках Новороссийска

Заболевание	Удаленность участка от промзоны		
	менее 500 м	500–1000 м	более 1000 м
Ринит	70	25	5
Ларингит	65	25	10
Бронхит	65	15	20
Трахеит	55	45	10
Трахеобронхит	80	15	5
Бронхиальная астма	100	0	0

Рис. 4. Смертность новорожденных, матери которых проживали в подзонах с разной этажностью застройки.

l — этажность застройки.



— давним использованием в отопительных системах угля и дров, при сгорании которых в атмосферу выбрасывается большое количество оксида и диоксида углерода, а также золы, содержащей токсичные элементы;

— близостью к промышленным объектам;

— длительным использованием пестицидов, удобрений и других химикатов для выращивания сельскохозяйственной продукции;

— выбросом через трубы отопительных систем соединений, способствующих коагуляции и выпадению из городской атмосферы загрязняющих веществ, мигрирующих от разных промышленных источников.

В районах многоэтажной застройки заболеваемость населения снижается по мере увеличения этажа проживания [6, 25]. Подобное распределение заболеваемости является ярким признаком высокого уровня загрязнения атмосферы, так как интенсивность загрязнения воздуха, особенно аэрозолями, уменьшается с увеличением высоты. Таким образом, основной механизм попадания загрязнения в организм людей — это аэральный перенос. Атмосферный канал распространения делает загрязнение масштабным, всепроникающим и наиболее опасным для здоровья.

Для подтверждения негативного влияния на здоровье населения загрязнения атмосферы, токсичности городских аэрозолей и для оценки степени их отличия от природных (преимущественно дефляционных аэрозолей) нами было проведено сравнение тонкодисперсной части почв юга России и аэрозолей, собранных в различных районах Новороссийска, лидирующего по выбросам взвешенных веществ стационарными источниками на юге России.

Геохимия природных и техногенных аэрозолей юга России. Основным фактором формирования аэрозолей атмосферного пограничного слоя (АПС) юга России является дефляция. Это обусловлено высокой степенью деградации природных ландшафтов и распаханности земель (до 70 % территории некоторых регионов), небольшим количеством осадков, краткосрочностью морозного периода и снегового покрытия, лёссовым характером почвообразующих грунтов, а также близостью к глобальным областям развеивания (Калмыкия, Северный Дагестан и Астраханская область). Доминирующая роль дефляционного фактора в загрязнении АПС юга России отмечалась многими авторами [26–29]. Установлено влияние дефляции и на геохимию почв, в том числе на формирование аномальных геохимических структур, за счет эоловой дифференциации и возникновения механических эоловых геохимических барьеров [6].

В менее распаханых и менее аридных регионах доля дефляционной компоненты снижается и начинают доминировать другие факторы, в том числе техногенные. Так, на значительной части территории России фоновую матрицу аэрозолей АПС формируют выбросы теплоэлектростанций, металлургических комбинатов и предприятий по производству строительных материалов [23, 26]. Последний фактор менее важен и более локален, но где-то может преобладать. Например, расположенные в Новороссийске и его окрестностях цементные заводы выбрасывают в атмосферу сотни тысяч тонн взвешенных веществ в год. Масса частиц выдувается с карьеров и ползущих вниз по склону осыпей, это громадные по площади и производительности дефляционные поля. Неслучайно в Новороссийске все чаще доминируют превышения экологических нормативов именно по взвешенным веществам. В целом стационарные источники загрязнения Новороссийской агломерации обеспечивают 15–25 % выбросов взвешенных частиц всего Краснодарского края, и уровень загрязнения растет. Только с 2009 по 2019 г. годовые выбросы в крае выросли с 147 до 999 тыс. т [30].

С целью получения объективных данных об особенностях геохимии воздушного канала загрязнения и идентификации аэрозолей различного генезиса нами ведется сопряженное изучение почв региона (источник дефляционных аэрозолей и накопитель загрязнения) и городских аэрозолей. Для определения геохимии потенциальных дефляционных аэрозолей было произведено сравнение содер-

жания химических элементов в почве в целом и в ее наиболее летучей фракции (мельче 0,1 мм). Так, концентрация Ti в тонкодисперсной части почв в 1,37 раза больше, чем в почве в целом. Установлен следующий ряд: Ti (1,37) > Be, Sr (1,34) > Ga (1,23) > Mn (1,20) > Ba (1,19) > Pb, Co, V, Mo (1,16) > Zn (1,08) > Cu (1,04) > Ni (0,92) > Sn (0,87) > Cr (0,79). Эти данные свидетельствуют о существенном обогащении тонкой фракции Ti, Be, Sr и обеднении Cr, Sn, Ni. Для оценки его объективности нами использовано и соотношение микроэлементов в тонко- и крупнодисперсной частях почв. Таким образом, получен следующий ряд: Ti (19,5) > Sr (17,5) > Ga (3,86) > Be (3,56) > Mn, Ba (3,38) > Pb (2,45) > Cu (2,10) > Zn (2,0) > Co (1,92) > Mo (1,05) > Ni (0,48) > Cr (0,39) > Sn (0,29) > V (0,22).

Видно, что обогащение тонкодисперсной фракции Ti и Sr является устойчивым признаком, так же как обеднение V, Sn, Cr и Ni. Эти особенности можно использовать в качестве маркеров при определении генезиса аэрозолей региона и соотношения дефляционного и техногенного вклада в их формирование. Закономерно увеличилась дифференциация коэффициентов, что подтверждает значительную роль мелкой фракции в геохимическом спектре почв. Более крупные фракции обеднены многими химическими элементами за счет доминирования (по массе) среди обломочного материала почв зерен кварца, гипса, карбонатов, солей и ослабления сорбции, вследствие увеличения размера частиц и уменьшения суммарной площади их поверхности.

Таковы особенности почв Предкавказья — потенциальных источников дефляционных аэрозолей. Их отличие от геохимии аэрозолей АПС других регионов [31–33] или от коэффициентов аэрозольной концентрации В.В. Добровольского [34] обусловлено своеобразием гранулометрического, минералогического состава почв, а также геологической историей региона. Ее особенностью является частое афитогенное состояние покровных отложений во время оледенений, регрессий Каспийского моря и периодов опустынивания. Поэтому обогащение почв Sr обусловлено аридным климатом, засолением покровных отложений и глин, часто являющихся почвообразующими. Обогащение почв Ti связано с высокой устойчивостью к выветриванию и твердостью (отличается самым большим отношением прочности к массе из всех элементов) образуемых им минералов (рутил, ильменит и др.), многократной перевеянностью песков и лёссов, а также наличием его россыпных месторождений в районах, подверженных дефляции [35, 36].

Для оценки геохимии преимущественно техногенных аэрозолей в разных частях Новороссийска, АПС которого является основным объектом исследований, на разном расстоянии от источников загрязнения воздуха и на разной высоте взята 41 проба пыли. Согласно визуальному и микроскопическому анализу, доминирующим фактором аэрозольного загрязнения во многих районах является цемент, пыль карбонатных горных пород и в меньшей степени уголь, который грузится в порту. Спектральный анализ показал, что городские аэрозоли обладают специфическим химическим составом. Это выражается в большой контрастности содержания в разных районах, что приводит к увеличению ошибки средних значений и коэффициента вариации, и резком повышении концентрации некоторых элементов (табл. 5).

Относительно регионального кларка почв [19] микроэлементы в пыли образуют следующий ряд: Ag (9,46) > Zn (3,69) > Pb (3,09) > Cu (2,78) > Ba (1,96) > Sr (1,91) > Sn (1,07) > Mo (1,03) > Mn (0,95) > Cr (0,84) > W (0,81) > Co, Ga, Ni, Ti (0,75) > V (0,71) > Ge (0,6) > Li (0,57) > P (0,45). Таким образом, городские аэрозоли интенсивно обогащены Ag, Zn, Pb и Cu — полиметаллами, которых мало в местных, преимущественно карбонатных, горных породах. Интересно, что эти микроэлементы характеризуются высокими коэффициентами аэрозольной концентрации на юге Европейской России также и по данным [33]. Обогащение пыли Ba и Sr — следствие имеющихся здесь громадных карьеров по добыче мергеля (местных почвообразующих горных пород) для производства цемента (см. табл. 5).

Микроэлементы тонкодисперсной части почв (потенциальных дефляционных аэрозолей) относительно регионального кларка почв [19] образуют другой ряд: Ti (1,49) > Sr (1,47) > Zn, V (1,42) > Ga (1,29) > Mn (1,20) > Co (1,16) > Pb (1,12) > Cu (1,11) > Ba, Cr (1,03) > Ag, Ni (1,01) > Mo (0,95) > Sn (0,82). Два этих ряда существенно различаются, что обусловлено факторами, рассмотренными выше. Это позволяет выделить определенные микроэлементы в качестве маркеров, способствующих идентификации источника аэрозолей по их химическому составу. В частности, дефляционный фактор приводит к обогащению аэрозолей Ti, Sr и Zn, а техногенный — Ag, Zn и Pb. Характерно, что ведущие элементы этих парагенетических ассоциаций — серебро и титан — имеют пониженные концентрации в другой ассоциации, и это повышает обоснованность их использования как маркеров. Zn к таковым отнести нельзя, поскольку он концентрируется в генетически различных аэрозолях.

При этом тонкодисперсная часть городских аэрозолей обогащена тяжелыми металлами и другими микроэлементами в еще большей степени. Дело в том, что в техногенных аэрозолях встречаются

Таблица 5

Сравнение содержания микроэлементов в городской пыли ($n \cdot 10^{-3} \%$, с вероятностью 95 %) с региональными кларками почв [20] и мергелями ($n \cdot 10^{-3} \%$) [6]

Элемент	Показатель				Элемент	Показатель			
	среднее содержание	ошибка среднего содержания с вероятностью 95 %	региональные кларки почв	мергель		среднее содержание	ошибка среднего содержания с вероятностью 95 %	региональные кларки почв	мергель
Cu	13,8	5,8	5,16	2,58	Tl	0,10	0,02	*	*
Zn	38,0	13,9	10,3	2,64	Ga	1,39	0,21	1,85	0,52
Pb	10,3	6,2	3,35	1,46	Ge	0,12	0,03	0,20	0,09
Ag	0,0974	0,070	0,0104	0,0055	P	40,3	14,6	91	36
Bi	0,26	0,21	*	*	Li	3,16	0,37	5,57	2,64
As	2,11	0,32	*	*	Ti	384	166	509	246
Cr	9,6	2,7	11,5	4,84	V	9,1	2,5	13,0	4,82
Sn	0,58	0,11	0,54	0,24	Ba	133	110	68	50
Mo	0,31	0,09	0,30	0,18	Sr	38,4	6,9	20,2	59
W	0,17	0,07	0,22	0,13	Ni	3,58	0,69	4,83	1,38
Co	1,50	0,17	2,00	0,63	Mn	81,6	14,2	85	93

* Низкий процент обнаружения.

частицы бетона, дорожного покрытия, кварца, кальцита, гипса и других минералов величиной до 0,5 мм, которые изначально не содержат тяжелых металлов в высоких концентрациях и, благодаря большому размеру, оказывают понижающее влияние на их концентрацию в аэрозолях в целом.

Своеобразный химический состав загрязнения обусловлен не только промышленными и транспортными выбросами, но и развитием науки и технологий, определяющих технофильность химических элементов [37, 38]. Анализ почв и пыли городов, проведенный как нами, так и другими авторами [39, 40], свидетельствует о сходной геохимии загрязнения различных городов мира, а выявленная в наших исследованиях халькофильная специфика загрязнения является наиболее распространенной. Кроме того, Pb, Zn и Cu, по В.В. Добровольскому, обладают очень высокими коэффициентами аэрозольной концентрации [34].

Анализ факторов распространения аэрального загрязнения указывает на то, что интенсивность и специфика загрязнения тем или иным веществом зависят от розы ветров, расстояния до источника загрязнения, наличия водных объектов на пути воздушного переноса, экспозиции депонирующей поверхности, физических и морфологических особенностей частиц. Например, загрязнение воздуха пылью с цементных комбинатов очень активно на расстоянии до 1,5 км и над сушей прослеживается в радиусе не менее 5 км. Значительно более слабым (не более 3–4 км) аэральный перенос становится при наличии на пути движения воздушного потока крупного водного объекта (в нашем случае Цемесской бухты). В этой ситуации основную роль в загрязнении воздуха играет угольная пыль, формирующаяся при погрузке угля на суда и фиксирующаяся на расстоянии не менее 2,5 км и на высоте более 40 м над ур. моря. Видимо, это следствие значительно меньшего удельного веса и морфологии частиц (листоватые агрегаты). Однако исследование распределения элементов-индикаторов в почвах свидетельствует о больших масштабах распространения загрязнения цементной промышленностью по розе ветров — не менее 8 км.

Характерно, что экспозиция депонирующей поверхности не оказывает заметного влияния на интенсивность загрязнения при расстояниях до 1,5 км, а на больших — является существенным фактором дифференциации. Так, концентрация свинца в пыли с окон высотного здания (18 этажей, в центре города на набережной) северной и восточной экспозиций (пять проб) составляет $5\text{--}6 \cdot 10^{-3} \%$, а южной (пять проб) — $10\text{--}50 \cdot 10^{-3} \%$. Такая дифференциация обусловлена розой ветров, точнее, сильными, часто ураганскими северо-восточными ветрами (борой), регулярно очищающими атмосферу Новороссийска.

Несмотря на громадную площадь карьеров, их влияние на геохимию взвешенных частиц проявляется слабо. Возможно, это обусловлено отсутствием геохимического своеобразия мергелей и

пониженным содержанием большинства микроэлементов (см. табл. 5), крупным размером частиц и расстоянием до центра города (более 5 км), наличием широкого (2–3 км в разных частях) водного объекта (Цемесская бухта) на пути воздушного потока и т. д. В результате дефляционные частицы сравнительно быстро слипаются, укрупняются и выпадают из воздушного потока, загрязняя аквальные экосистемы [41].

Проведенный анализ приводит к выводу, что городская пыль является важным фактором загрязнения городской среды и негативно влияет на здоровье населения. Не всегда пыль имеет техногенное происхождение, но даже первично дефляционная, мигрируя в течение длительного времени внутри города, постепенно концентрирует, накапливает на себе загрязняющие вещества. И чем мельче частицы пыли, тем больше суммарная площадь их поверхности и сильнее разнообразные процессы закрепления микроэлементов. По данным В.В. Добровольского, 80–90 % тяжелых металлов в аэрозолях содержится в тонкой фракции с размером частиц около 1 мкм [26]. В условиях сухого климата и при отсутствии влажной уборки в городе сорбция химических элементов пылью может продолжаться десятилетиями. Города являются механическими геохимическими барьерами для пыли. Ее аэраль-ный вынос затруднен из-за плотной высотной застройки. В результате пыль, привнесенная или образующаяся, задерживается в городе надолго и постепенно поглощает различные химические элементы. Часть пыли со временем закрепляется в почвах и водных объектах, формируя загрязнение, часть выносится за пределы города, а часть периодически поднимается ветром и попадает в наши органы дыхания, вызывая заболевания.

ВЫВОДЫ

1. Здоровье населения тесно связано с загрязнением городской среды, близостью к источникам загрязнения и с ландшафтно-зональными особенностями строения территории в месте проживания. Особую опасность представляет тонкодисперсная пыль, легко поднимающаяся в воздух, что делает очень важной влажную уборку в городах.

2. Идентификация аэрозолей является непростой задачей, поскольку поставщиков взвешенных частиц много. Сравнительный анализ геохимии природных и техногенных аэрозолей позволяет выделить региональные маркеры генезиса аэрозолей по химическому составу. Дефляционный фактор приводит к обогащению аэрозолей региона Ti и Sr, а техногенный, в районе Новороссийска, — Ag, Pb и Cu.

3. Дефляционная составляющая является своеобразной матрицей, на которой осаждаются микроэлементы, находящиеся в воздухе вследствие техногенеза, в состоянии рассеяния или парогазовой форме. Микроскопический анализ свидетельствует о том, что даже окатанные кварцевые частицы размером менее 0,1 мм облеплены множеством частиц мельче их в десятки и сотни раз.

4. Результаты оценки основных тенденций техногенной трансформации биосферы свидетельствуют о том, что при неконтролируемом природопользовании развитие антропогенеза идет по следующей траектории: потребности людей → техногенное воздействие на биосферу → деградация природных ландшафтов → загрязнение окружающей среды → усиление степени трансформации биосферы → снижение техносферной безопасности → ухудшение условий проживания и безопасности жизнедеятельности населения → повышение заболеваемости и смертности → увеличение личных и государственных расходов на улучшение здоровья и качество окружающей среды → уменьшение свободно располагаемых доходов населения и государства → снижение уровня жизни.

Работа выполнена при поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований (19–42–230004, 19–45–230009).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **The European** environment — state and outlook 2020: Knowledge for transition to a sustainable Europe. — Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019. — 496 p.
2. **Алексеев В.А., Алексеев В.А., Черкашина И.Ф.** Тяжелые металлы в ландшафтах Ростовской области: Атлас. — Ростов-на-Дону: Изд. ГКП ПГО «Южгеология», 1989. — 42 с.
3. **Карта** геохимических ландшафтов Ставропольского края. М-б 1:500 000 / Под ред. А.И. Перельмана. — М.: ГУГК СССР, 1990. — 2 л.

4. Карта геохимических ландшафтов Кабардино-Балкарской АССР и Северо-Осетинской АССР. М-6 1:500 000 / Под ред. А.И. Перельмана. — М.: ГУГК СССР, 1990. — 2 л.
5. Алексеев В.А. Геохимия ландшафта и окружающая среда. — 2-е изд. — М.: Недра, 1990. — 142 с.
6. Дьяченко В.В. Геохимия, систематика и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа. — Ростов-на-Дону: Комплекс, 2004. — 268 с.
7. Дьяченко В.В., Матасова И.Ю. Ландшафтно-геохимическая дифференциация юга России // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана): Докл. Всерос. науч. конференции. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2016. — С. 355–358.
8. Дьяченко В.В., Матасова И.Ю., Дьяченко Л.Г. Картографирование геохимических ландшафтов юга России (аспекты практического использования) // География и природ. ресурсы. — 2019. — № 3. — С. 16–25.
9. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений / Ред. Л.Н. Овчинников. — М.: Недра, 1983. — 192 с.
10. Малыхин Ю.А., Дьяченко В.В. Геоэкологические аспекты безопасности жизнедеятельности населения в городах Краснодарского края и Ростовской области // Безопасность жизнедеятельности. — 2003. — № 9. — С. 13–20.
11. Малыхин Ю.А., Малыхина А.Г., Дьяченко В.В. Медико-экологические исследования урбанизированных территорий // Безопасность в техносфере. — 2008. — № 3. — С. 16–21.
12. Малыхин Ю.А., Герасименко Д.Б. Ландшафтно-геохимические особенности г. Новороссийска и их влияние на состояние здоровья населения // Геохимия биосферы: Сб. тезисов конференции. — Новороссийск: Изд-во Кубан. технол. ун-та, 1994. — С. 94–96.
13. Малыхин Ю.А., Герасименко Д.Б. Загрязнение городской среды тяжелыми металлами и патологии рождаемости (на примере г. Новороссийска) // Геохимия биосферы: Сб. тезисов конференции. — Новороссийск: Изд-во Кубан. технол. ун-та, 1994. — С. 77–79.
14. Дьяченко В.В., Дьяченко Л.Г., Камбарова Е.А., Матасова И.Ю. Ландшафтно-геохимические модели географической дифференциации и техногенной трансформации биогеоценозов Краснодарского края для мониторинга и оценки состояния окружающей среды. — Краснодар, 2016. — 94 с.
15. Dyachenko V., Matasova I., Ponomareva O. The trace elements concentrations dynamics in the soil landscapes of the Southern Russia // Universal Journ. of Geoscience. — 2014. — Vol. 2 (1). — P. 28–34.
16. Дьяченко В.В., Матасова И.Ю. Загрязнение и динамика микроэлементов в почвах юга России // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. — 2015. — № 4. — С. 324–332.
17. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. — М.: Изд-во АН СССР, 1957. — 327 с.
18. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in the Biological Environment. — Warsaw, 1979. — 300 p.
19. Shacklette H.T., Boerngen J.G. Element Concentration in Soils and Other Surficial Materials of the Conterminous United States. — Washington: United States Government Printing Office, 1984. — 105 p.
20. Дьяченко В.В., Матасова И.Ю. Региональные кларки химических элементов в почвах юга европейской части России // Почвоведение. — 2016. — № 10. — С. 1159–1166.
21. Дьяченко В.В., Казаров О.М., Лаганин С.В. Сельское хозяйство Краснодарского края как фактор экологической опасности в регионе // Безопасность жизнедеятельности. — 2003. — № 9. — С. 8–11.
22. Дьяченко В.В., Дьяченко Л.Г., Девисилов В.А. Науки о земле: Учеб. пособие. — М.: ИНФРА-М, 2019. — 345 с.
23. Саэт Ю.Е., Ревич В.Я., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. — М.: Недра, 1990. — 335 с.
24. Рубилин Е.В. Микроэлементы в почвах Северного Кавказа. — Л.: Изд. Ленингр. ун-та, 1968. — 56 с.
25. Dyachenko V., Malykhin Y., Dyachenko L. The problems of the North Caucasus landscape's pollution and population's health // Journ. of Environmental Protection. — 2014. — Vol. 5, N 2. — P. 81–86.
26. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: Учеб. пособие. — М.: Высш. шк., 1998. — 413 с.
27. Приваленко В.В., Домбровский Ю.А., Остроухова В.М., Шустова В.Л., Базелюк А.А., Остробородько Н.П. Эколого-геохимические исследования городов Нижнего Дона. — Ростов-на-Дону: Изд-во ГПП «Южгеология», 1994. — 268 с.
28. Кудерина Т.М. Атмосферный аэрозоль как индикатор опустынивания в аридных и субаридных ландшафтах ЕТР // Материалы VII Международного симпозиума. — Оренбург: Печатный дом «Димур», 2015. — С. 442–443.
29. Ивлиева О.В. Техногенный седиментогенез в Азовском море: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. — Ростов-на-Дону, 2007. — 48 с.
30. О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2019 году: Ежегодный доклад. — Краснодар: Изд. Мин-ва природ. ресурсов Краснодарского края, 2020. — 550 с.
31. Глазовский Н.Ф., Учватов В.П. Химический состав атмосферной пыли некоторых районов ЕТС. — Пушкино, 1981. — 33 с.
32. Глазовский Н.Ф., Злобина А.И., Учватов В.П. Химический состав снежного покрова некоторых районов Верхнеокского бассейна // Регион. экол. мониторинг. — М.: Наука, 1983. — С. 67–86.
33. Губанова Д.П., Кудерина Т.М., Чхетиани О.Г., Иорданский М.А., Обвинцев Ю.И., Лебедев В.А., Козлов Ф.А., Артамонова М.С., Максименков Л.О. Динамика приземных аэрозолей в южных регионах России по данным полевых наблюдений [Электронный ресурс]. — https://www.research-gate.net/publication/337893232_Dinamika_prizemnyh_aerozolej_v_uznyh_regionalh_Rossii_po_dannym_polevyh_nabludenij (дата обращения 20.08.2022).

34. **Добровольский В.В.** Биогеохимия мировой суши // Избр. труды. — М.: Науч. мир, 2009. — Т. 3. — 440 с.
35. **Государственная** геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1 000 000. Карта среднемиоцен-четвертичных образований: L-38 / Науч. ред. С.И. Застрожных. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2001. — 1 л.
36. **Бойко Н.И.** Титан-циркониевые россыпи Ставрополя // Литология и полезные ископаемые. — 2004. — № 6. — С. 602–609.
37. **Перельман А.И.** Геохимия. — М.: Высш. шк., 1975. — 423 с.
38. **Касимов Н.С., Власов Д.В.** Технофильность химических элементов в конце XX–начале XXI в. // Геохимия ландшафтов и география почв. 100 лет со дня рождения М.А. Глазовской. — М.: АПР, 2012. — С. 143–156.
39. **Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е.** Химический состав дорожной пыли и ее фракции PM10 как индикатор загрязнения городской среды // Экология и промышленность России. — 2021. — Т. 25, № 10. — С. 43–49.
40. **Lanzerstorfer Ch.** Heavy metals in the finest size fractions of road-deposited sediments // Environmental Pollution. — 2018. — Vol. 239. — P. 522–531.
41. **Dyachenko V.V., Turkin V.A., Vishnevetskaya V.V.** Geological and geochemical factors of aquatic landscapes resistance to anthropogenic influence // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2021. — Vol. 872 (1). — P. 012006. — DOI: 10.1088/1755-1315/872/1/012006

Поступила в редакцию 13.10.2022

После доработки 15.03.2023

Принята к публикации 29.06.2023