ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2025;(11):49-63
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 504.06+658+622 DOI: 10.25018/0236_1493_2025_11_0_49

ОЦЕНКА УРОВНЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ДОБЫЧЕ МЕРГЕЛЯ И ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

К.К. Размахнин[1], Э.С. Торосян[1]

[1] Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия, e-mail: constantin-const@mail.ru

Аннотация: Установлено, что в Краснодарском крае процессы добычи мергеля и производство цемента на его основе сопровождаются выбросами в атмосферу таких веществ, как диоксид азота, оксид азота, оксид углерода, пыль неорганическая, тяжелые металлы, взвешенные вещества и др. Проведен анализ и представлены данные состава пылевых выбросов крупнейших предприятий, осуществляющих добычу мергеля и производство цемента в Новороссийской промышленной агломерации. Определено, что химический состав выбросов в атмосферу при производстве цемента существенным образом зависит от добавок гипса, известняка, мергеля, мела, глины, шлаков, применяемых при измельчении клинкера и получении товарного продукта. Рекомендовано при следующей актуализации ИТС НДТ 6-2022 «Производство цемента» принять в качестве экологических маркеров добычи мергелей следующие вещества: азота оксид, азота диоксид, углерода оксид, взвешенные вещества, пыль неорганическую. Рекомендованы к внедрению существующие наилучшие доступные и перспективные технологии добычи и первичной переработки мергельсодержащего сырья, позволяющие существенно сократить количество выбросов загрязняющих веществ, а также повысить ресурсо- и энергоэффективность цементного производства. Проведен анализ наличия ресурсов отходов смежных отраслей (техногенного сырья) в Краснодарском крае, позволивший определить возможность их переработки и утилизации при производстве цемента, обеспечивая при этом значительный экологический эффект. Предложены направления внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологических решений при добыче мергеля и производстве цемента, наряду со снижением уровня техногенного загрязнения и технологическим развитием данной индустрии, способствующие формированию эффективной модели экономики замкнутого цикла в Краснодарском крае.

Ключевые слова: мергель, вскрышные породы, добыча, производство цемента, выбросы, атмосферный воздух, наилучшие доступные технологии, уровень загрязнения, отходы, ресурсосбережение.

Благодарность: Статья подготовлена при финансовой поддержке РНФ и КНФ в рамках конкурса 2024 г. «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» (региональный конкурс), проект 24-18-20049 «Региональная система экономики замкнутого цикла: институциональные модели и технологии развития (на примере Краснодарского края)».

Для цитирования: *Размахнин К. К., Торосян Э. С.* Оценка уровня негативного воздействия предприятий по добыче мергеля и производства цемента на окружающую среду Краснодарского края // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 11. – С. 49–63. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_11_0_49.

Evaluation of environmental impact of marl mining and cement production in the Krasnodar Krai

K.K. Razmakhnin[1], E.S. Torosyan[1]

[1] Kuban State University, Krasnodar, Russia, e-mail: constantin-const@mail.ru

Abstract: In the Krasnodar Krai, extraction of marl and manufacture of cement on this basis produces air emission of such substances as nitrogen dioxide, nitrogen oxide, carbon oxide, inorganic dusty, heavy metals, suspended solids etc. The dust emission compositions are analyzed at the largest marl and cement plants of the Novorossiysk industrial agglomeration. The chemical composition of air emission in cement production greatly depends on addition of gypsum, limestone, marl, chalk, clay and slag in clinker grinding and manufacture of a marketable product. It is recommended to add the next regular update of Technical Reference Guide NDT 6-2022: Cement Production with ecological markers of marl extraction, such as: nitrogen oxide, nitrogen dioxide, carbon oxide, suspended solids and inorganic dust. The best currently available and promising technologies are recommended for the extraction and initial processing of marl-bearing material, which allow essential reduction of pollutant emission, as well as enhancement of the resource- and energy-efficiency of cement production. The analysis of waste of allied industries (manmade resource) in the Krasnodar Krai determined the waste processibility and usability in cement production at a high environmental effect. The ways of introducing the energy- and resource-saving technologies in extraction of marl and in production of cement along with reduction of manmade pollution and technological development of the industry are proposed, which can promote formation of an effective closed-cycle economy model in the Krasnodar Krai.

Key words: marl, overburden rock, extraction, cement production, emission, air, best available technologies, contamination level, waste, resource-saving.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation and Kuban Science Foundation within the framework of the 2024 Contest of Basic and Exploratory Research by Individual Scientific Teams (regional contest), and Project No. 24-18-20049 Regional Closed-Cycle Economy: Institutional Models and Development Technologies (A Case-Study of the Krasnodar Krai).

For citation: Razmakhnin K. K., Torosyan E. S. Evaluation of environmental impact of marl mining and cement production in the Krasnodar Krai. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(11):49-63. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_11_0_49.

Введение

Производство цемента, наряду с сельским хозяйством, металлургией, машиностроением и строительной индустрией, является одной из наиболее развитых отраслей Краснодарского края и представляет собой важную составляющую формируемой в регионе модели экономики замкнутого цикла. В Краснодарском крае расположено 11 месторождений цементного сырья с суммарными запасами 4 196 727 тыс. т., из которых к распределенному фонду отнесены 7 (6 — разрабатываются, 1 — в стадии разведки), к нераспределенному — 4 месторождения с запасами 2 559 632 тыс. т. Большинство данных месторождений находятся в Новороссийской промышленной агломерации.

Цементная отрасль способствует динамичному развитию строительно-инвестиционного комплекса Кубани и позволяет расширять возможности по увеличению объемов производства и ассортимента товарной продукции, получаемой на основе цемента. К основным производителям цемента в Краснодарском крае относятся: ОАО «Новоросцемент», ООО «Атакайцемент», ОАО «Верхнебаканский цементный завод». Вместе с тем высококачественный цемент производится из мергелей, добываемых открытым способом из Новороссийской группы месторождений (Новороссийский район). Наиболее крупными месторождениями и одноименными карьерами по добыче мергеля в данном регионе являются: Усть-Джегутинский, Шесхарис (крупнейшее месторождение мергеля в Краснодарском крае), Мирный и Мефодиевский.

При этом процесс карьерной добычи мергеля характеризуется существенным негативным влиянием на компоненты окружающей среды.

Необходимо отметить, что расположенные в Новороссийской промышленной агломерации предприятия по добыче мергеля не осуществляют значительного количества сбросов, при этом заводы по производству цемента не имеют стоков в силу того, что используют замкнутую систему водоснабжения. Вместе с тем расположенные преимущественно вблизи Черноморского побережья предприятия по добыче мергелей образуют большое количество промышленных отходов, к которым, в основном, относятся вскрышные породы. Интенсивное крупнотоннажное накопление и незначительное использование (менее 30 %) вскрышных пород ведет к разносу по близлежащим территориям мелкодисперсных минеральных частиц крупностью от 2 до 65 мкм, а также частиц размером менее 2 мкм. Вещественный состав вскрышных пород, образуемых при добыче мергелей, характеризуется достаточно высоким содержанием оксида кальция (54 — 58%) и диоксида углерода (40 — 46%), а также наличием примесей известняка ($CaCO_3$). Известняк, входящий в состав вскрышных пород, содержит следующие вещества (%): SO_3 — 0,01; TiO_2 — 0,01; P_2O_5 — 0,01; MnO — 0,04; SrO — 0,01. Несмотря на то, что отходы добычи мергелей (вскрышные породы) являются инертными, мелкодисперсные фракции (менее 10 мкм) могут оказывать существенное воздействие на здоровье человека, а также являться фактором-загрязнителем поверхностных вод и почвы, в значительной степени снижая их качество (понижение уровня кислотности) [1, 2]. При этом процесс добычи мергеля и производство цемента на его основе сопровождаются выбросами в атмосферу таких веществ, как диоксид азота, оксид азота, оксид углерода, пыль неорганическая и взвешенные вещества и др.

В этой связи на территории нескольких районов Краснодарского края техногенная нагрузка на окружающую природную среду, создаваемая за счет добычи мергеля, а также накопления и размещения отходов вскрыши, образуемых при разработке месторождений данного вида минерального сырья, характеризуется как высокая. Наиболее сложная экологическая обстановка складывается в Новороссийской промышленной агломерации, являющейся районом расположения основных объектов добычи мергеля и промышленных предприятий по производству цемента [1, 3].

Цель и методы исследования

Целью проведенных исследований явилась оценка уровня негативного воздействия предприятий по добыче мергеля и производства цемента на его

основе на окружающую среду в Краснодарском крае. В качестве методов исследования были использованы: информационный анализ, ретроспективный анализ, оценка современного состояния научных разработок в области применения инновационных технологий при снижении негативного воздействия на окружающую среду при добыче мергеля, методы химического и минералогического анализа, методы определения химического состава воздуха, синтез, наблюдение.

Наибольший вклад в развитие методической и теоретической основы исследований в области воздействия добычных работ при разработке месторождений цементного сырья внесли такие известные отечественные и зарубежные ученые, как А.В. Алексеенко, М.А. Вердиян, К. Дребенштедт, Ж. Ху, Н.А. Григорьев, К.Х. Ведепол, Е.Н. Потапова, В.А. Гузь, И.Л. Значко-Яворский и др. [1, 4, 5].

В качестве объектов исследований приняты предприятия Краснодарского края по добыче мергелей, а также образующиеся в результате их производственной деятельности техногенные отходы. Основными критериями отбора предприятий по добыче мергеля и производству цемента для проведения исследований и оценки их негативного воздействия являлись:

- объем и масса осуществляемых выбросов в атмосферу и сбросов в водные объекты;
- доля выбросов и сбросов предприятия в общем загрязнении атмосферы и водных объектов;
- применение предприятием наилучших доступных технологий (НДТ).

Результаты и их обсуждение

В промышленной агломерации г. Новороссийска образующиеся в результате добычи мергелей вскрышные породы представляют опасность для окружающей среды по причине высокой степени пыления отвалов их складирования. Образуемая при накоплении и размещении отвалов вскрышных пород пыль распространяется на близлежащие территории посредством переноса ветром и за счет интенсивной эрозии и представляет значительную угрозу для дыхательной системы человека, а также является загрязнителем почвы по причине осаждения на ее поверхность [6, 7]. Соответственно, происходит загрязнение ландшафтов поллютантами, содержащимися в атмосферном воздухе и оседающими на поверхность почвы вместе с частицами мелкодисперсной пыли, образуемой на отвалах вскрышных пород добычи мергеля. В этой связи для разработки мероприятий по снижению и предотвращению пыления породных отвалов становится необходимым проведение оценки негативного воздействия Новороссийской промышленной агломерации на окружающую среду близлежащих территорий.

Следует отметить, что достаточно высокий уровень (до 150 м) расположения отвалов вскрышных пород и некондиционного мергеля (S = 15 га) над морем (район Цемесской бухты), а также, согласно розе ветров, существенное преобладание северо-восточного ветра определяют сдувание и перенос мелкодисперсной пыли преимущественно в сторону жилой застройки г. Новороссийска. При этом пылевидные минеральные частицы сорбируют содержащиеся в атмосферном воздухе города поллютанты (свинец, цинк, алюминий, медь, железо, барий, кадмий, стронций, формальдегид и др.) и осаждаются на поверхности почвы и водоемов, изменяя их химический состав и водородный показатель. Вместе с тем химический состав мергелей и вскрышных пород также определяет возможность и степень

загрязнения входящими в их состав компонентами. Усредненный химический состав мергеля (Новороссийская группа месторождений) характеризуется следующими значениями (%): SiO_2 — 6,2–39,7; Al_2O_3 — 0,3–8,2; Fe_2O_3 — 0,1–3,8; CaO — 19,7–51,8; MgO — 0,8–10,1; SiO_2 / Al_2O_3 — 2,7; ППП — 22,2–36,2.

Санитарно-защитная зона предприятий по добыче мергеля и производству цемента в НПА составляет: карьер — 300 м, производство цемента — 500 м, автодорога для транспортирования минерального сырья — 100 м. Ближайшая жилая застройка зачастую примыкает к производственным площадкам и располагается на расстоянии от 35 до 175 м [1]. Проведенные исследования и анализ данных показали, что почвы прилегающих районов на расстоянии до 500 м от карьеров и цементных заводов Новороссийской промышленной агломерации (НПА) в значительном количестве содержат указанные выше загрязняющие вещества, т.е. компоненты, непосредственно связанные с добычей мергелей и производством цемента.

Проведенные замеры загрязненности атмосферного воздуха в районе НПА показали, что на отвалах вскрышных пород и на расстоянии до 150 м среднее содержание суммы твердых взвешенных частиц (ТЧ) размером от менее 1 мкм (PM1) до 10 мкм (PM10) достигает значений 0,6 — 1,3 мг/м^3. Среднее содержание фракции крупностью 2,5 мкм (PM2,5) в районе накопления и размещения отвалов вскрышных пород составило 0,14 мг/м^3. Пылевидные минеральные частицы переносятся ветром на западное побережье Цемесской бухты, что приводит к росту концентраций загрязняющих веществ в воздухе в 2 — 2,5 раза.

Рассчитанный в рамках определения комплексного показателя загрязнения окружающей среды по формуле (1), предложенной Институтом глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля (ФГБУ «ИГКЭ»), уровень загрязнения атмосферного воздуха в НПА (приоритетный показатель загрязнения атмосферного воздуха) составил 0,625 (с тенденцией ухудшения к 2026 г.), что соответствует высокому уровню загрязненности.

$$\sum i = 1m\mu_{ir} \cdot N_{ir} \cdot N_r, \qquad (1)$$

где $N_г$ — численность всего населения в НПА; N_{ir} — численность населения г. Новороссийска; μ_{ir} — весовой коэффициент, величина которого зависит от категории качества воздуха в городе; m — количество населенных пунктов (городов) в НПА.

Следует отметить, что расчет велся исходя из того, что Новороссийская промышленная агломерация включает в себя ряд населенных пунктов, в том числе Новороссийск, Анапу, Крымский район и Геленджик.

Также по формуле (2) (ФГБУ «ИГКЭ») был рассчитан уровень загрязнения поверхностных вод НПА (приоритетный показатель загрязнения вод), который составил 0,3 и выявил тенденцию к ухудшению по отношению к нынешнему стабильному (низкому) уровню, что вызвано перспективой значительного увеличения объемов добычи мергелей и производства цемента.

$$W_г = H_{невзг} + 0{,}2\ H_{взг}, \qquad (2)$$

где $H_{невзг}$ — количество случаев экстремально высокого загрязнения поверхностных вод в НПА; $H_{взг}$ — количество случаев высокого загрязнения поверхностных вод в НПА.

При этом уровень загрязнения воды в Цемесской бухте был рассчитан без учета взвешенных веществ (согласно распоряжению УМЗА Росгидромета от 25.06.2021 № 120-09/10Т).

Комплексный показатель загрязнения окружающей среды в НПА опре-

Таблица 1

Основные стадии добычи мергеля и производства цемента
The main stages of marl mining and cement production

Стадия производства цемента	Подпроцесс	Загрязняющие вещества (выбросы в атмосферу)
Добыча мергеля	Механическое рыхление, буровзрывные работы, вскрышные и добычные работы (выемка, погрузка и перемещение мергеля и вскрышных пород), дробление, транспортировка мергеля и вскрышных пород, разгрузка, складирование и усреднение, отвалообразование, сопровождающееся выделением пыли (в т.ч. сдувание пыли с поверхности отвалов)	Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20—70, а также более 70%; азота диоксид (двуокись азота; пероксид азота); азота оксид (азот (II) оксид; азот монооксид); углерода оксид (углерод окись; углерод монооокись; угарный газ); взвешенные вещества (разнородные по составу твердые частицы, содержащиеся в выбросах загрязняющих веществ)
Производство клинкера	Дробление, измельчение, гомогенезация, обжиг, охлаждение	Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20—70, а также более 70%; азота диоксид; азота оксид; углерода оксид; взвешенные вещества;
Доведение клинкера до порошкообразного состояния	Измельчение клинкера с добавками	Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20—70, а также более 70%

деляется, в том числе, основными стадиями производства цемента (табл. 1): добыча мергеля; получение клинкера; измельчение клинкера с добавками до необходимой крупности.

Добыча и первичная переработка мергеля представлена рядом источников основного загрязнения окружающей среды, которые подразделяются по цехам производства цемента, объединенных в единый технологический процесс. Добыча (буровзрывные, погрузочные и др. работы) и складирование сырья (промежуточное хранение шихты и гипса, захоронение нетоксичных производственных отходов) осуществляется в горном цехе, включающем карьер и склады. Производство клинкера и его доведение до порошкообразного состояния осуществляются в основном промышленном цехе. Следует отметить, что промышленные предприятия по производству цемента в НПА используют мокрый способ изготовления цемента, не отличающийся экологичностью, а также характеризующийся низким ресурсосбережением, в частности, по причине достаточно высокого расхода топлива на обжиг, что определяет высокую степень воздействия на окружающую среду.

Кроме того, основные производственные процессы на цементных предприятиях характеризуются значительными пылевыми выбросами, источниками которых являются дробилки, мельницы, печи, сушилки, склады сырья (клинкера, цемента, добавок), цементоупаковочное оборудование, места транспортировки и пересыпки пылящих материалов, точки загрузки продукции (цемента) в транспорт (ж/д, авто).

Проведенные информационные исследования показали значительное преимущество по производительности (Q =

= 300 — 500 т/ч) и более низким энергозатратам (q = 0,3 — 0,6 кВт·ч/т) щековых дробилок по сравнению с молотковыми (Q = 150 — 200 т/ч; q = 0,4 — 1,8 кВт·ч/т) и валковыми (Q = 60 — 100 т/ч; q = 0,2 — 0,3 кВт·ч/т) [8]. Наиболее эффективными при измельчении цементного сырья являются мельницы самоизмельчения «Гидрофол», при этом чаще применяются производительные шаровые мельницы [8]. Вместе с тем процессом, характеризующимся наиболее высоким количеством выбросов, считается обжиг сырьевой смеси во вращающихся печах.

С целью оценки негативного воздействия территории НПА на окружающую среду проанализирован состав пылевых выбросов (взвешенных веществ) крупнейших предприятий, осуществляющих добычу мергеля и производство цемента (табл. 2).

В результате проведенного анализа данных, представленных в табл. 1, установлено, что выбросы предприятий по добыче мергелей и производству цемента в НПА содержат значительные количества Ba, Cr, Pb и Zn, что определяет их попадание в почву и поверхностные водоемы близлежащих территорий. Вместе с тем основными загрязняющими компонентами вскрышных пород добычи мергеля являются (%): CaO — 54–58, CO_2 — 40–46. Помимо этого, во вскрышных породах присутствует известняк ($CaCO_3$), содержащий (%): SO_3 — 0,01; TiO_2 — 0,01; P_2O_5 — 0,01; MnO — 0,04; SrO — 0,01, Pb, Zn, Cu, Ba и Sr. Вместе с тем проведенный статистический анализ данных по загрязняющим веществам не выявил значительных различий в составах пылевых выбросов в атмосферу между различными предприятиями.

Следует отметить, что химический состав выбросов в атмосферу при производстве цемента существенным образом зависит от добавок, применяемых при измельчении клинкера и получении товарного продукта необходимого качества. Для производства цемента (цементного клинкера) используются следующие добавки (табл. 3): гипс, известняк, мергель, мел, глины, шлаки и т.п. Для балансировки (коррекции) химического состава клинкера применяют железосодержащие добавки (шлаки металлургические, пиритные огарки и т.п.). Предприятия по производству цемента в НПА преимущественно используют в качестве Fe-содержащих добавок «L»-клинкер (г. Владикавказ), огарки Мангышлакские (г. Актау) и Липецкие, а также гематитовую руду (г. Карачаевск).

Таблица 2

Усредненный химический состав выбросов предприятий по производству цемента в НПА, мг/кг
Average chemical composition of emissions from cement production plants of the NIA, mg/kg

Объект анализа	Ba	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	V	Zn
ОАО «Новоросцемент»												
Пыль (взвешенные вещества)	1024	6,8	61,2	40,8	40,4	2,3	10,5	2020	2,1	5,3	20,8	100,2
ООО «Атакайцемент»												
Пыль (взвешенные вещества)	950	5,4	55,2	34,7	38,3	1,9	9,6	1984	2,2	5,1	21,1	98,7
ОАО «Верхнебаканский цементный завод»												
Пыль (взвешенные вещества)	985	6,4	56,7	37,7	38,9	2,1	9,9	2000	2,1	5,3	20,8	100,0

Таблица 3

Добавки в цемент для корректировки химического состава сырьевой смеси
Additives to cement to adjust the chemical composition of the raw mix

Наименование добавки в цемент	**Содержание, %**	**Наличие сырьевых добавок в Краснодарском крае**
Гипс, ангидрит	до 4	Месторождения: Шедокское, Бесленеевское, Ильичевское, Передовское (суммарные запасы 242 тыс. т.)
Опока	до 20	Месторождения: Губское, Натухаевское, Севастопольское, Шедокское, Баканское и др.
Трепел	до 10	Разрабатываемых месторождений в регионе нет. Месторождения на балансе: Кирпильское, Слободкинское, Ханское, Должанское; Забойское, Черноерковское и др. (суммарные запасы 4220 тыс. т.)
Шлак доменный гранулированный при совместном помоле с клинкером или раздельном помоле и смешением с бездобавочным цементом	до 80	Шлак Абинского ЭМЗ (г. Абинск); доставляются огарки Мангышлакские (г. Актау), огарки из г. Липецк
Гематитовая руда	до 4	Доставляется из г. Карачаевск. Проявления в Краснодарском крае: Таманское (Железная Балка), Мыса Железный Рог, Балка Глубокая
Фосфогипс (заменитель природного гипса)	до 5	ООО «ЕвроХим-Белореченские минеральные удобрения» (г. Белореченск) — 30 млн т
Строительные отходы (бой бетона, кирпича, деревянных элементов конструкций, стекло)	до 20	В достаточном количестве

Наряду с этим предусмотренные в ИТС НДТ 6-2022 наилучшие доступные технологии, а также заданный Правительством РФ в рамках «Стратегии развития промышленности строительных материалов до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года» вектор прогресса обуславливают необходимость достижения максимально высоких показателей комплексности использования минерального сырья и отходов. Такой подход определяет рациональное использование эффективных передовых технологических и технических решений для утилизации отходов промышленности и их применения в качестве вторичных ресурсов. В этой связи с целью обеспечения принципов экономики замкнутого цикла (малоотходности использования ресурсов; сокращения количества выбросов и сбросов загрязняющих веществ; минимизации образуемых отходов и т.д.), а также для снижения негативного воздействия отходов добычи, образовавшихся в результате добычи и переработки мергеля, предлагается их использование в составе смесей для закладки выработанных пространств (горных выработок), при производстве строительных материалов, а также в сельском хозяйстве (в качестве регуляторов качества почв). Таким образом,

обеспечивается соблюдение важных принципов экономики замкнутого цикла: ресурсосбережения; малоотходности использования ресурсов; минимизации количества выбросов и сбросов загрязняющих веществ; минимизации количества отходов при производстве; межотраслевой коллаборации [9, 10].

Утилизация или использование других промышленных отходов, образуемых на территории Краснодарского края, могут быть сопряжены с производством цемента в НПА путем использования техногенного сырья в качестве добавок к клинкеру. Перечисленные в табл. 3 добавки в цемент для корректировки химического состава сырьевой смеси в большинстве своем представлены отходами различных производств, в том числе металлургических, строительных и по производству удобрений. Данные виды потенциальных добавок в цемент, в том числе с целью повышения его качества, достаточно широко представлены в Краснодарском крае в силу интенсивного развития строительной отрасли и металлургического и химического производств, характеризующихся достаточно высоким образованием шлаков, строительных отходов и фосфогипса. Данные отходы относятся к категории прямых заменителей клинкера, при этом их содержание в цементе может достигать 80%. Всего в цементной отрасли промышленности Краснодарского края потенциально может быть использовано около 27 млн т техногенного сырья, в том числе вскрышных пород, образуемых при добыче мергеля [1, 11].

Помимо очевидного экологического эффекта, использование различных промышленных отходов (смежных производств) в качестве добавок при производстве цемента способствует существенному снижению затрат, в частности, связанных с сокращением расхода клинкера и придания ему специальных физико-механических и строительно-технических свойств [12, 13].

Вместе с тем использование таких добавок предполагает усложнение химического состава сырьевой смеси для производства цемента, что, в свою очередь, обуславливает появление в выбросах предприятия дополнительных загрязняющих веществ.

Одним из наиболее опасных факторов загрязнения окружающей среды является наличие в выбросах предприятий по производству цемента тяжелых металлов и их соединений (концентрация может изменяться в широких пределах), которые поступают в обжиговую печь вместе с сырьевыми материалами (минеральное сырье, добавки) и с технологическим топливом (уголь, мазут). В табл. 2 и 4 приведены усредненные концентрации веществ, в том числе тяжелых металлов, выбрасываемых в атмосферный воздух из цементных печей предприятий, расположенных в НПА (после пылеулавливания). Определение концентраций металлов в воздухе производилось по методике М-МВИ-34-04 «Методика выполнения измерений массовой концентрации металлов в воздухе рабочей зоны и выбросах в атмосферу промышленных предприятий атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией».

Результаты определения усредненных концентраций тяжелых металлов (не представленных в табл. 2), выбрасываемых в атмосферный воздух из цементных печей предприятий, расположенных в НПА, показали, что выбросы данных загрязняющих веществ являются незначительными и не представляют высокой опасности для окружающей среды.

Наиболее опасными при производстве цемента, с точки зрения воздействия на окружающую среду, являются

Таблица 4

Усредненные уровни эмиссии тяжелых металлов в атмосферу из обжиговых печей предприятий по производству цемента (НПА)

Average levels of heavy metal emissions into the atmosphere from kilns of cement production plants (NIA)

Металл	Концентрация, мг/нм^3
Сурьма	0,007
Мышьяк	< 1,0
Кадмий	0,0007
Марганец	0,013
Ртуть	0,0005
Таллий	0,0025

газообразные выделения в атмосферу от обжиговых печей (NO_x, CO, NH_3 и тяжелые металлы) [14, 15]. Из системы печей цементного производства возможны выбросы диоксида серы (в виде различных сернистых соединений с пылью и клинкером), наличие которых зависит от концентрации летучих соединений серы в сырьевых материалах и технологическом топливе. Кроме того, в выбросах предприятий по производству цемента могут присутствовать неорганические соединения хлора и фтора (компоненты клинкера — HCl, HF) с содержанием от 0,05 до 0,1 масс. % в пересчете на ион Cl [8, 16].

В качестве маркерных веществ, согласно ИТС НДТ 6-2022 «Производство цемента», при производстве цемента следует использовать выбросы взвешенных веществ, пыли неорганической, оксидов азота, серы диоксида и оксида углерода. В технологиях, предусматривающих применение процессов совместного сжигания различных материалов, в том числе отходов, экологические маркеры включают следующие вещества: азота оксид, азота диоксид, углерода оксид, взвешенные вещества, пыль неорганическую, HCl, HF, SO_2, ртуть, свинец, кадмий, талий и медь. Одной из основных задач экологической политики России является применение принципа нормирования допустимого воздействия промышленных предприятий на окружающую среду, основанного на показателях НДТ (наилучших доступных технологий).

Вместе с тем в настоящее время для добычи мергеля не установлены маркерные вещества, что представляет собой существенный пробел в нормативно-правовой базе обеспечения экологической безопасности цементной отрасли промышленности. В этой связи, на основании проведенных исследований, рекомендуется при следующей актуализации информационно-технического справочника в 2027 — 2028 гг. принять в качестве экологических маркеров добычи мергелей следующие вещества: азота оксид (NO), азота диоксид (NO_2), углерода оксид CO; взвешенные вещества; пыль неорганическую. Кроме того, с целью снижения выбросов маркерных веществ предлагается рекомендовать к внедрению существующие наилучшие доступные и перспективные технологии добычи и первичной переработки мергельсодержащего сырья, что позволит не только существенно сократить количество выбросов загрязняющих веществ, но и в значительной степени повысить ресурсо- и энергоэффективность цементного производства. Целью внедрения НДТ и механизма реализации их принципов в отрасли добычи сырья для производства цемента, наряду со снижением уровня техногенного загрязнения и технологическим развитием данной индустрии, является формирование в Краснодарском крае эффективной модели экономики замкнутого цикла. Кроме того, внедрение НДТ будет способствовать модернизации и повышению эффективности применяемых и внедряемых технологий с учетом особен-

ностей производственных процессов и используемого сырья при значительной оптимизации финансовых издержек.

С учетом представленных в смежных с ИТС НДТ 6-2022 Справочниках наилучших доступных и перспективных технологий, внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологических решений рекомендуется осуществлять по следующим направлениям:

- применение технологических линий сухого способа производства цемента;
- реконструкция печей мокрого способа производства цемента;
- реконструкция действующих технологических линий мокрого способа производства цемента;
- применение помольных агрегатов замкнутого цикла с целью увеличения обемов производства тонкомолотых и смешанных цементов;
- оснащение мельниц устройствами для раздельного измельчения сырьевых материалов;
- замена, реконструкция и модернизация обеспыливающих и водосточных устройств с целью нормирования выбросов и сбросов;
- оснащение бурового оборудования высокоэффективными пылеуловителями с применением отсасывающего вентилятора;
- развитие технологий, позволяющих обеспечить максимальное использование отходов добычи цементного сырья (вскрышные породы) и смежных отраслей промышленности;
- применение при производстве цемента различных типов отходов (ТБО, шины, измельченная резина, осадки сточных вод, древесная щепа, шпалы, RDF) в качестве топлива (снижаются прямые выбросы двуокиси углерода от традиционных видов топлива);
- применение энергоэффективных технологий и технологий, обеспечивающих переход к производству «углероднонейтрального» цемента.

В целом, ситуация по утилизации и вторичному использованию отходов добычи мергеля в Краснодарском крае находится на достаточно низком уровне. Вновь образующиеся и накопленные вскрышные породы оказывают существенное негативное воздействие на окружающую среду НПА и обусловливают достаточно высокие расходы недропользователей на платежи за негативное воздействие на окружающую среду [9, 10]. В этой связи внедрение НДТ утилизации и использования данного вида отходов будет способствовать формированию устойчивой системы обращения с техногенным сырьем в Краснодарском крае и интенсифицировать переход региона к экономике замкнутого цикла с минимизацией воздействия на его экосистему. К наиболее рациональным направлениям применения НДТ и перспективных технологий при обращении с отходами добычи мергеля в Краснодарском крае следует отнести технологические решения, позволяющие обеспечить их применение в наиболее развитых отраслях экономики региона: сельском хозяйстве (регулирование кислотности почв, использование в качестве минеральных удобрений и т.п.), строительной индустрии (для изготовления строительных смесей, бетонов и т.п.), горнодобывающей (заполнение выработанного пространства), нефтегазовой (применение в качестве компонента для производства композиционного материала, предназначенного для заполнения заколонного пространства технологических скважин) [17, 18]. Вскрышные породы добычи мергеля (V класс опасности) и некондиционный мергель также могут быть переработаны по технологии рудоподготовки, включающей дробление и рассев на классы крупности, с получением товарного продук-

та — щебня, и использованы при строительстве автодорог Краснодарского края. Крупнотоннажная утилизация и использование в качестве вторичного ресурса вскрышных пород добычи мергелей в данных отраслях будет способствовать значительному сокращению объемов накопления техногенного сырья и площадей, занимаемых территорий, при существенном снижении пыления отвалов.

Кроме того, снижение интенсивности пыления отвалов вскрышных пород добычи мергеля можно достичь путем применения методов инженерной защиты окружающей среды, в том числе относящихся к НДТ и перспективным технологиям. В данную категорию технологий следует включить [19 — 21]:

- техническую и биологическую рекультивации отвалов пород;
- методы химического закрепления пылящих поверхностей путем обработки поверхностно-активными веществами (флокулянтами) в смеси с мелкодисперсными отходами добычи мергеля (вскрышные породы), известняка, шелухи семян подсолнечника, мульчи;
- различные технические средства (устройства) и материалы (в т.ч. геосинтетические материалы — геоматы и георешетки), специально предназначенные для закрепления пылящих поверхностей и проведения рекультивационных работ;
- технические и технологические решения для создания экологически безопасных и природоподобных способов размещения и хранения отходов добычи мергеля.

Посредством применения рекомендуемых подходов к организации системы обращения с отходами добычи мергеля и реализации мероприятий по рекультивации отвалов их накопления и размещения возможно достижение полной трансформации занятой ими территории в автономную устойчивую экологическую систему.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что в Краснодарском крае процессы добычи мергеля и производство цемента на его основе сопровождаются выбросами в атмосферу таких веществ, как диоксид азота, оксид азота, оксид углерода, пыль неорганическая, тяжелые металлы, взвешенные вещества и др. Анализ состава пылевых выбросов крупнейших предприятий, осуществляющих добычу мергеля и производство цемента в НПА, показал значительное содержание в них Ba, Cr, Pb и Zn, Cu, Sr, CaO и CO_2, что определяет их попадание в почву и поверхностные водоемы близлежащих территорий. При этом химический состав выбросов в атмосферу при производстве цемента существенным образом зависит от добавок (гипс, известняк, мергель, мел, глины, шлаки и т.п.), применяемых при измельчении клинкера и получении товарного продукта необходимого качества. На основании проведенной информационной и правовой оценки рекомендовано при следующей актуализации ИТС НДТ 6-2022 «Производство цемента» в 2027–2028 гг. принять в качестве экологических маркеров добычи мергелей следующие вещества: азота оксид (NO), азота диоксид (NO_2), углерода оксид CO, взвешенные вещества, пыль неорганическую. С целью снижения выбросов маркерных веществ предлагается рекомендовать к внедрению существующие наилучшие доступные и перспективные технологии добычи и первичной переработки мергельсодержащего сырья, что позволит не только существенно сократить количество выбросов загрязняющих веществ, но и в значительной степени повысить ресурсо- и энергоэффектив-

ность цементного производства. На основе проведенного анализа наличия ресурсов отходов смежных отраслей (техногенного сырья) в Краснодарском крае определена возможность их переработки и утилизации при производстве цемента, обеспечивающая значительный экологический эффект. Вместе с тем предложенные направления внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологических решений при добыче мергеля и производстве цемента, наряду со снижением уровня техногенного загрязнения и технологическим развитием данной индустрии, будут способствовать формированию в Краснодарском крае эффективной модели экономики замкнутого цикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеенко А. В.*, *Дребенштедт К.* Оценка воздействия на окружающую среду и рекультивация отвалов карьера по добыче мергеля // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. — 2018. — Т. 42. — № 3. — С. 467—477. DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-3-467-477.

2. *Размахнин К. К.* Обоснование и разработка технологий обогащения и модификации цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2021. — № 3. — С. 148—157. DOI: 10.15372/FTPRPI20210314.

3. *Размахнин К. К.* Принципы экономики замкнутого цикла в управлении отходами горнодобывающей промышленности в Краснодарском крае: технологические и институциональные аспекты // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2024. — № 10. — С. 166—180. DOI: 10.25018/023614932024100166.

4. *Антоненко Н. А.*, *Дергунов Д. В.*, *Шейнкман Л. Э.* Исследование влияния известняковой мелкодисперсной пыли, образующейся при открытых горных работах, на свойства почвы // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2017. — № 2. — С. 3—17.

5. *Hu Z.*, *Gao S.* Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // Chemical Geology. 2008, vol. 253, no. 3—4, pp. 205—221.

6. *Ignatyeva M., Yurak V., Dushin A., Strovsky V., Zavyalov S., Malyshev A.* How far away are world economies from circularity: Assessing the capacity of circular economy policy packages in the operation of raw materials and industrial wastes // Sustainability. 2021, vol. 13, no. 8. DOI: 10.3390/su13084394.

7. *Dushin A. V.*, *Ignatyeva M. N.*, *Yurak V. V.*, *Ivanov A. N.* Economic evaluation of environmental impact of mining: Ecosystem approach // Eurasian Mining. 2020, vol. 1, pp. 30—36. DOI: 10.17580/em.2020.01.06.

8. *Скобелев Д. О.*, *Бобылев С. Н.*, *Белозеров Г. А.*, *Кузьмина Е. В.* Экологическое благополучие и капитализация природных ресурсов // Естественно-гуманитарные исследования. — 2025. — № 1(57). — С. 354—361.

9. *Мочалова Л. А.*, *Еремеева О. С.*, *Подкорытов В. Н.* Идеи циркулярной экономики в реализации промышленных экосистем в России // Journal of New Economy. 2024, vol. 25, no. 1, pp. 32—37. DOI: 10.29141/2658-5081-2024-25-1-5.

10. *Dovgal O., Goncharenko N., Reshetnyak O., Dovgal G., Danko N., Shuba T.* Sustainable ecological development of the global economic system. The Institutional Aspect // Journal of Environmental Management and Tourism. 2020, vol. 11, no. 3, pp. 728—740. DOI: 10.14505//jemt.v11.3(43).27.

11. *Ignatyeva M., Yurak V., Pustokhina N.* Recultivation of post-mining disturbed land: Review of content and comparative law and feasibility study // Resources. 2020, vol. 9, no. 6. DOI: 10.3390/RESOURCES9060073.

12. *Гузь В. А.*, *Высоцкий Е. В.* Российская цементная промышленность в 2023 году // Цемент и его применение. — 2023. — № 6. — С. 22—25.

13. *Kitipong Ruengsillapanun, Thippakorn Udtaranakron, Tawich Pulngern, Weerachart Tangchirapat, Chai Jaturapitakkul* Mechanical properties, shrinkage, and heat evolution of alkali activated fly ash concrete // Construction and Building Materials. 2021, vol. 299, article 123954. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123954.

14. *Shammari H. L. A.* The experimental assessment into heavy metal content in saudi cements // IJRDO-Journal of Applied Science. 2019, vol. 5, no. 3, pp. 39—83. DOI: 10.53555/as.v5i3.2750.

15. *Yiping Su, Jing Wang, Shun Li* Self-templated microwave-assisted hydrothermal synthesis of two-dimensional holey hydroxyapatite nanosheets for efficient heavy metal removal // Environmental Science and Pollution Research. 2019, vol. 29, pp. 30076—30086. DOI: 10.1007/s11356-019-06160-4.

16. *Udara S. P. R. Arachchige, Alagiyawanna A. M. A. K. M., Balasuriya B. M. C. M., Chathumini K. K. G. L., Dassanayake N. P., Devasurendra J. W.* Environmental Pollution by Cement Industry // International Journal of Research. 2019, vol. 6, no. 8.

17. *Каплунов Д. Р., Юков В. А.* О принципах перехода горнодобывающего предприятия к устойчивому экологически сбалансированному развитию // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 3. — С. 74—86. DOI: 10.25018/02361493-2020-3-0-74-86.

18. *Кременецкая И., Бочарникова Е., Дрогобужская С., Слуковская М., Мосендз И., Иванова Т., Новиков А.* Кремниевые мелиоранты на основе серпентиновых горнопромышленных отходов // Экология и промышленность России. — 2024. — Т. 28. — № 10. — С. 22—29. DOI: 10.18412/1816-0395-2024-10-22-29.

19. *Мязин В. П., Бабелло В. А., Офицеров В. Ф., Ходкевич Д. В.* Патент РФ № 2175065 Устройство для закрепления пылящих поверхностей и отвалов горных пород. Опубл. 20.10.2001.

20. *Rashad R. T., Hussien R. A.* Agronomic efficiency of feldspar, quartz silica, and zeolite as silicon (Si) fertilizers in sandy soil // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2020, no. 51, no. 8, pp. 1078—1088. DOI: 10.1080/00103624.2020.1751184.

21. *Tayade R., Ghimire A., Khan W., Lay L., Attipoe J. Q., Kim Y.* Silicon as a smart fertilizer for sustainability and crop improvement // Biomolecules. 2022, vol. 12, no. 8, article 1027. https://www.mdpi.com/journal/biomolecules. ГИАБ

REFERENCES

1. Alekseenko A. V., Drebenstedt C. Environmental impact assessment and reclamation of marl quarry dumps. *Belgorod state university scientific bulletin. Natural sciences*. 2018, vol. 42, no. 3, pp. 467—477. [In Russ]. DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-3-467-477.

2. Razmakhnin K. K. Justification and development of technologies for enrichment and modification of zeolite-containing rocks in Eastern Transbaikalia. *Journal of Mining Sciences*. 2021, no. 3, pp. 148—157. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPRPI20210314.

3. Razmakhnin K. K. Concept of closed-loop economy in mining waste management in the Krasnodar Krai: Technological and institutional aspects. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024, no. 10, pp. 166—180. [In Russ]. DOI: 10.25018/023614932024100166.

4. Antonenko N. A., Dergunov D. V., Shejnkman L. E. Study of the influence of limestone fine dust generated in open mining, on soil properties. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2017, no. 2, pp. 3—17. [In Russ].

5. Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update. *Chemical Geology*. 2008, vol. 253, no. 3—4, pp. 205—221.

6. Ignatyeva M., Yurak V., Dushin A., Strovsky V., Zavyalov S., Malyshev A. How far away are world economies from circularity: Assessing the capacity of circular economy policy packages in the operation of raw materials and industrial wastes. *Sustainability*. 2021, vol. 13, no. 8. DOI: 10.3390/su13084394.

7. Dushin A. V., Ignatyeva M. N., Yurak V. V., Ivanov A. N. Economic evaluation of environmental impact of mining: Ecosystem approach. *Eurasian Mining*. 2020, vol. 1, pp. 30—36. DOI: 10.17580/em.2020.01.06.

8. Skobelev D. O., Bobylev S. N., Belozerov G. A., Kuzmina E. V. Ecological well-being and capitalization of natural resources. *Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya*. 2025, no. 1(57), pp. 354—361. [In Russ].

9. Mochalova L. A., Eremeeva O. S., Podkorytov V. N. Circular economy ideas in the implementation of industrial ecosystems in Russia. *Journal of New Economy*. 2024, vol. 25, no. 1, pp. 32—37. [In Russ]. DOI: 10.29141/2658-5081-2024-25-1-5.

10. Dovgal O., Goncharenko N., Reshetnyak O., Dovgal G., Danko N., Shuba T. Sustainable ecological development of the global economic system. The Institutional Aspect. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020, vol. 11, no. 3, pp. 728—740. DOI: 10.14505//jemt.v11.3(43).27.

11. Ignatyeva M., Yurak V., Pustokhina N. Recultivation of post-mining disturbed land: Review of content and comparative law and feasibility study. *Resources*. 2020, vol. 9, no. 6. DOI: 10.3390/RESOURCES9060073.

12. Guz V. A., Vysotsky E. V. Russian cement industry in 2023. *Cement and its Applications*. 2023, no. 6, pp. 22–25. [In Russ].

13. Kitipong Ruengsillapanun, Thippakorn Udtaranakron, Tawich Pulngern, Weerachart Tangchirapat, Chai Jaturapitakkul Mechanical properties, shrinkage, and heat evolution of alkali activated fly ash concrete. *Construction and Building Materials*. 2021, vol. 299, article 123954. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123954.

14. Shammari H. L. A. The experimental assessment into heavy metal content in saudi cements. *IJRDO-Journal of Applied Science*. 2019, vol. 5, no. 3, pp. 39–83. DOI: 10.53555/as.v5i3.2750.

15. Yiping Su, Jing Wang, Shun Li Self-templated microwave-assisted hydrothermal synthesis of two-dimensional holey hydroxyapatite nanosheets for efficient heavy metal removal. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019, vol. 29, pp. 30076–30086. DOI: 10.1007/s11356-019-06160-4.

16. Udara S. P. R. Arachchige, Alagiyawanna A. M. A. K. M., Balasuriya B. M. C. M., Chathumini K. K. G. L., Dassanayake N. P., Devasurendra J. W. Environmental Pollution by Cement Industry. *International Journal of Research*. 2019, vol. 6, no. 8.

17. Kaplunov D. R., Yukov V. A. Principles of a mine transition to sustainable and environmentally sound development. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 3, pp. 74–86. [In Russ]. DOI: 10.25018/02361493-2020-3-0-74-86.

18. Kremenetskaya I., Bocharnikova E., Drogobuzhskaya S., Slukovskaya M., Mosendz I., Ivanova T., Novikov A. Silicon ameliorants based on serpentine mining waste. *Ecology and Industry of Russia*. 2024, vol. 28, no. 10, pp. 22–29. [In Russ]. DOI: 10.18412/1816-0395-2024-10-22-29.

19. Myazin V. P., Babello V. A., Ofitserov V. F., Khodkevich D. V. *Patent RU 2175065*. 20.10.2001. [In Russ].

20. Rashad R. T., Hussien R. A. Agronomic efficiency of feldspar, quartz silica, and zeolite as silicon (Si) fertilizers in sandy soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2020, no. 51, no. 8, pp. 1078–1088. DOI: 10.1080/00103624.2020.1751184.

21. Tayade R., Ghimire A., Khan W., Lay L., Attipoe J. Q., Kim Y. Silicon as a smart fertilizer for sustainability and crop improvement. *Biomolecules*. 2022, vol. 12, no. 8, article 1027. https://www.mdpi.com/journal/biomolecules.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Размахнин Константин Константинович[1] – д-р техн. наук,
e-mail: constantin-const@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-2944-7642,
Торосян Эрик Сергеевич[1] – начальник отдела
интеллектуальной собственности, e-mail: torosyane@inbox.ru,
ORCID ID: 0009-0004-6094-1758,
[1] Кубанский государственный университет.
Для контактов: Размахнин К.К., e-mail: constantin-const@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

K.K. Razmakhnin[1], Dr. Sci. (Eng.),
e-mail: constantin-const@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-2944-7642,
E.S. Torosyan[1], Head of the Intellectual Property Department,
e-mail: torosyane@inbox.ru,
ORCID ID: 0009-0004-6094-1758,
[1] Kuban State University, 350040, Krasnodar, Russia.
Corresponding author: K.K. Razmakhnin, e-mail: constantin-const@mail.ru.

Получена редакцией 21.05.2025; получена после рецензии 27.06.2025; принята к печати 10.10.2025.
Received by the editors 21.05.2025; received after the review 27.06.2025; accepted for printing 10.10.2025.