

# Экология и гигиена

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2025

УДК 613.6.069

DOI 10.59598/МЕ-2305-6053-2025-117-4-70-80

Е. Ж. Отаров<sup>1</sup>, Ж. Ж. Жарылқасын<sup>1</sup>, Ч. У. Исмаилов<sup>1\*</sup>, А. В. Алексеев<sup>1</sup>, М. К. Тилемисов<sup>1</sup>,  
А. Ж. Шадетова<sup>1</sup>, Ж. Б. Сабиров<sup>1</sup>, У. С. Шайхаттарова<sup>2</sup>

## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА И РАНЖИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ КАК ОСНОВА РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗДОРОВЬЕМ РАБОТНИКОВ ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

<sup>1</sup>НАО «Национальный центр гигиены труда и профессиональных заболеваний» (100012, Республика Казахстан, г. Караганда, ул. Г. Мустафина, 15; e-mail: info@naoncgt.kz)

<sup>2</sup>Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмета Ясави (161200, Республика Казахстан, г. Туркестан, ул. Б. Саттарханова, 29; e-mail: info@ayu.edu.kz)

\*Чингиз Усманович Исмаилов – НАО «Национальный центр гигиены труда и профессиональных заболеваний»; 100012, Республика Казахстан, г. Караганда, ул. Г. Мустафина, 15; e-mail: chingiz.ismail@gmail.com

Работа посвящена обоснованию интегрального подхода к оценке условий труда, служащего основой риск-ориентированного управления здоровьем работников горно-обогатительного комплекса. Исследование проведено на действующем золотодобывающем предприятии полного цикла (от добычи до готового продукция). Выполнен комплексный гигиенический мониторинг физических, химических и эргономических факторов производства.

Полученные данные позволили выявить основные источники риска для здоровья: общая вибрация, интенсивный шум, высокая запылённость с содержанием диоксида кремния и воздействие токсичных химических реагентов. Кроме того, зафиксированы повышенная тяжесть и напряжённость труда у операторов и руководителей (классы условий 3.2-3.3). Многократные превышения гигиенических нормативов подтверждают высокий риск развития вибрационной болезни, туготугоухости, силикоза и других профессиональных заболеваний.

На основе интегральной оценки сформирован ранжированный реестр профессиональных рисков и разработаны практические рекомендации по предотвращению основных опасностей: усиление защиты от цианидов, совершенствование систем пылеподавления, снижение уровней шума и вибрации, облегчение тяжелых физических нагрузок и меры по снижению психоэмоционального стресса. Предложенные меры рекомендуется внедрять в рамках системы постоянного улучшения условий труда.

Проведенное исследование показывает, что комплексный риск-ориентированный подход дает более полное представление о состоянии рабочих мест и эффективно направляет профилактику на ключевые опасности. Такая модель управления профессиональными рисками служит надежной основой формирования «здорового рабочего места» и повышает реальную защищенность работников.

**Ключевые слова:** профессиональный риск; горнорудная промышленность; профессиональная заболеваемость; условия труда; управление рисками; гигиеническая оценка; физические и химические факторы; интегральный показатель; профилактика заболеваний

### ВВЕДЕНИЕ

В горнорудной отрасли производственные процессы сопряжены с воздействием множества вредных факторов, приводящих к профессиональным заболеваниям и ухудшению здоровья работников [1, 2]. Международные нормы охраны труда призывают к комплексному подходу, охватывающему не только гигиенические условия, но и психосоциальные аспекты и участие руководства [3]. Однако на практике оценка условий труда часто ограничивается формальным контролем отдельных факторов с присвоением «классов условий» без интеграции этих данных в систему управления рисками. Такой статичный подход не учитывает суммарное воз-

действие нескольких опасностей и динамику производственной среды [4].

В условиях горно-обогатительного предприятия, где на работников одновременно действуют физические перегрузки, шум, вибрация, пыль, токсичные вещества и др., особенно необходима комплексная оценка риска. Традиционный гигиенический подход [1] рассматривает каждый фактор изолированно, определяя класс условий труда по наиболее вредному фактору. Это упрощает контроль, но не учитывает синергизм: одновременное воздействие, например, шума и химических веществ взаимно усиливает вредное воздействие [4, 5]. В итоге суммарный риск для здоровья при множественных опасно-

стях существенно выше, чем при раздельной оценке факторов. Для создания здорового рабочего места требуется интегральная оценка профессиональных рисков, учитывающая совокупное влияние факторов и позволяющая расставить приоритеты профилактики [8, 9].

**Цель работы** – обоснование применения интегрального подхода к оценке производственной среды по физическим, химическим и физиологическим факторам в качестве основы модели управления профессиональными рисками и профилактики нарушений здоровья работников горно-металлургического комплекса.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на действующем горно-обогатительном предприятии полного цикла по добыче и переработке золотосодержащей руды. В инфраструктуру проекта входят карьер открытых горных работ, золотоизвлекательная фабрика (ЗИФ) с гидрометаллургическим отделением и связанные с ними вспомогательные службы. На ЗИФ реализуется современная технологическая схема: ультра-тонкое измельчение руды (~0,010 мм), цианидное выщелачивание (CIL-процесс) с адсорбцией золота на активированном угле, последующая десорбция (элюирование), электролиз и плавка для получения готовой продукции.

Таким образом, предприятие включает участки по добыче (карьер), обогащению и металлической переработке руды, а также разнообразные вспомогательные подразделения, обеспечивающие работу основного производства.

На рабочих местах предприятия проведены инструментальные измерения факторов производственной среды и трудового процесса. Оценка охватывала основные группы вредных факторов:

**физические факторы:** производственный шум (эквивалентные уровни звука за 11-часовую смену), общая и локальная вибрация, параметры микроклимата (температура, относительная влажность, скорость воздуха в рабочей зоне), освещённость рабочих мест, а также аэродисперсные частицы (пылевой фактор).

**химические факторы:** концентрации производственной пыли, содержащей кристаллический диоксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ); токсичные газы (сианичная кислота ( $\text{HCN}$ ) и другие реагенты на основе цианидов, выхлопные газы дизельной техники –  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  и др.); химические реагенты гидрометаллургического процесса.

**факторы трудового процесса:** тяжесть труда (величина физической нагрузки: энерготраты, масса и количество поднимаемых вручную тяжестей, рабочие позы и перемещения и т.д.) и напряженность труда (сенсорные, интеллектуальные, эмоциональные нагрузки, монотонность, интенсивность работы, регламентированные перерывы) [5].

Все измерения и оценка факторов проводились в соответствии с действующими методиками и санитарными нормами. Полученные значения сравнивались с установленными гигиеническими нормативами: предельно допустимыми концентрациями (ПДК) для химических веществ и пыли, предельно допустимыми уровнями (ПДУ) для шума, вибрации и других физических параметров. Классификация условий труда по степени вредности осуществлена на основании критериев методической рекомендации №24 [5] «Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса». В этой системе класс 2 соответствует допустимым условиям, класс 3 – вредным условиям труда (с подразделением на подклассы 3.1, 3.2, 3.3 – от умеренного до высокого превышения нормативов; класс 3.4 – чрезвычайно вредные/опасные условия).

Помимо классической гигиенической оценки, применен количественный подход на основе индексов опасности. Для каждого измеренного фактора рассчитан коэффициент опасности (Hazard Quotient, HQ) как отношение фактического уровня воздействия к соответствующему нормативному пределу ( $\text{HQ} = \text{фактическая концентрация или уровень} / \text{ПДК или ПДУ}$ ). Значения  $\text{HQ} > 1$  указывают на превышение допустимого уровня и наличие риска неблагоприятного влияния на здоровье. Для факторов с одинаковым преобладающим воздействием на организм (например, на один и тот же критический орган или систему) рассчитаны суммарные индексы опасности (Hazard Index, HI) путем суммирования соответствующих HQ [6, 7]. Кроме того,веден интегральный показатель профессионального риска (ИПР) для каждого рабочего места, отражающий совокупное воздействие всех значимых факторов. В простейшем случае таким показателем выступает наивысший класс условий труда среди всех факторов на данном рабочем месте (например, наличие хотя бы одного фактора класса 3.3 автоматически относит место к группе максимально высокого риска). Однако для более тонкой дифференциации применен комбинированный индекс: одновременно учитывались величина превышения по каждому фактору и охват работников этим фактором.

Для удобства анализа все исследованные рабочие места разделены на три функциональные группы: 1) участки открытых горных работ (добычные и геологоразведочные подразделения); 2) технологические участки (обогащение и гидрометаллургическая переработка руды); 3) вспомогательные и обеспечивающие подразделения.

По каждой группе рабочих мест проведен анализ распределения классов условий труда по факторам, вычислены доли и количество рабочих мест, относящихся к тому или иному классу

вредности. На основе значений HQ/HI рассчитаны сводные показатели риска. Полученные данные представлены в виде таблиц (матрица доминирующих факторов, реестр рисков) и графических материалов (диаграммы распределения классов по группам). Для определения приоритетов управления рисками использован метод ранжирования, основанный на двух ключевых критериях – тяжесть потенциальных последствий (отражена классом условий труда по фактору) и распространённость фактора (число работников, подверженных данному воздействию). Такой подход соответствует принципам стандарта ISO 31010 «Risk Assessment Techniques» [7], согласно которым риски оцениваются по вероятности (в данном случае – распространённости воздействия) и тяжести последствий.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ условий труда на участках открытых горных работ показал доминирование физических и эргономических факторов риска. Это закономерно с учётом специфики работ под открытым небом с применением тяжёлой техники. Практически все основные рабочие профессии первой группы – машинисты и водители карьерной техники, горнорабочие, техники-геологи и маркшейдеры – испытывают высокие уровни физических нагрузок и вибрации.

Одним из наиболее значимых и распространённых факторов риска в группе 1 является общая вибрация. У машинистов экскаваторов, водителей карьерных самосвалов, машинистов погрузчиков, бульдозеров и автогрейдеров зафиксированы уровни общей вибрации, соответствующие классу условий труда 3.2. Измеренные значения ускорения корректированный уровень вибрации  $L_{A(11)}=122\pm16,8$  дБ (при нормативном ПДУ 112 дБ). Интенсивное длительное воздействие вибрации приводит к профессиональным заболеваниям опорно-двигательного аппарата, периферической нервной и сосудистой систем, что подтверждается данными исследований горнодобывающей отрасли. Этот фактор риска носит массовый характер – вибрационной нагрузке класса 3.2 подвержены практически все работники, управляющие карьерной техникой.

Не менее важную роль играют факторы тяжести и напряженности трудового процесса. Тяжесть труда (физические нагрузки) на участках геологоразведки и маркшейдерских работ отнесена к классам 3.1-3.2. Это означает, горнорабочие, техники-геологи и техники-маркшейдеры испытывают высокие статические и динамические нагрузки: переноска и удержание тяжестей, работа в наклонных позах, длительная ходьба по пересечённой местности и т.д. Напряжённость труда (суммарная сенсорная, интеллектуальная и эмоциональная нагрузка) также повышена до классов 3.1-3.2 для широкого круга специалистов. У водителей и машинистов это обусловлено постоянной концентрацией внимания

и ответственностью за управление сложными машинами и безопасность окружающих. У инженерно-технических работников (начальники участков, горные мастера, мастера взрывных работ) высокая напряжённость связана с ответственностью за планирование и принятие решений, необходимостью обеспечения безопасности персонала и выполнения производственных заданий в условиях неопределённости.

Производственный шум и запыленность на открытых горных работах, по результатам измерений, имеют локальные превышения нормативов. Уровень шума превышал ПДУ ( $L_A$  экв =  $82,6\pm8,2$  дБА при норме 80 дБА, класс 3.1) на рабочих местах техника-геолога и горнорабочего при геологических изысканиях. Концентрация общей пыли превышала ПДК ( $C_{c.c.}=4,8\pm0,9$  мг/м<sup>3</sup> при норме 4,0 мг/м<sup>3</sup>, класс 3.1) на рабочих местах горнорабочих геологоразведки и маркшейдерии. В то же время на основных рабочих местах в карьере (машинисты большегрузной техники) уровни шума и пыли не превышали нормативов (класс 2). Это объясняется эффективностью применяемых средств защиты. Современные карьерные самосвалы и экскаваторы оснащены герметичными шумоизолированными кабинами, а системы кондиционирования предотвращают попадание пыли. Благодаря этому машинисты работают в относительно безопасных условиях по данным факторам.

Среди химических факторов на открытых горных работах наибольшую опасность представляет пыль с содержанием свободного диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ). В зоне буровых и взрывных работ при дроблении породы концентрация пыли достигала  $C_{c.c.}=5,6\pm1,1$  мг/м<sup>3</sup>, при содержании кремний диоксида до 10%. Эти значения более чем на 1,4 раза превышают допустимый уровень (4,0 мг/м<sup>3</sup>) и соответствуют классу 3.1 вредности. Длительное вдыхание пыли с кристаллическим кремнезёмом ведёт к высокому риску развития силикоза и других заболеваний легких. Выявление данного фактора подтверждает необходимость усиленных мер пылеподавления и индивидуальной защиты органов дыхания на этих операциях. Запыленность в карьере усугубляется нерегулярными, но сильными выбросами пыли при взрывах и работой тяжелой техники: в среднем за смену запыленность соответствует подклассу 3.2 (~3–4 мг/м<sup>3</sup>), но в пиковые моменты, вероятно, достигает уровня 3.3 и выше. Это указывает на важность учёта не только средних, но и кратковременных пиковых воздействий при оценке риска.

В целом для открытых горных работ характерен профиль риска, при котором на первом плане стоят физические перегрузки (вибрация, тяжесть труда) и их влияние на опорно-двигательный аппарат, сердечно-сосудистую и нервную систему. Химические опасности (пыль, выхлопные газы) и шум присутствуют, но чаще локализованы на отдельных операциях или у кон-

крайних профессий. Тем не менее, определенные этапы (буровзрывные работы, первичная переработка руды) требуют усиленного контроля по запылённости. На основе этих результатов для открытых работ будут разработаны приоритетные меры профилактики. В частности, планируется снижение вибрационной нагрузки и тяжести труда (механизация вспомогательных операций, оптимизация режимов труда и отдыха), а также улучшение пылеподавления (эффективная вентиляция и орошение пылевых зон).

Технологические участки (обогатительная фабрика, гидрометаллургический цех ЗИФ, лаборатории) представляют собой зону максимального риска ввиду совокупности факторов. Здесь персонал подвергается сочетанному воздействию физических и химических факторов высокой интенсивности. По сравнению с открытыми горными работами, условия труда на фабрике характеризуются значительно более высокими концентрациями токсичных веществ и уровнями шума в замкнутом пространстве цехов.

На ключевых операциях ЗИФ зафиксированы высокие уровни шума: у дробильщиков, аппаратчиков гидрометаллургического процесса, машинистов мельниц эквивалентный уровень шум  $L_{A_{\text{экв}}} = 91,6 \pm 13,5$  дБА, что соответствует классу 3.2. Шум такого уровня присутствует практически на всех основных рабочих местах фабрики и является постоянным фоновым фактором. Следовательно, риск развития профессиональной туготоухости у этих категорий персонала весьма высок, если не принять дополнительных мер защиты (эффективные противошумные наушники, снижение шума у источника).

Общая вибрация на технологических участках выражена меньше, чем в карьере, однако измерение на рабочих местах у дробильно-размольного оборудования корректированный уровень вибрации  $L_{A(11)} = 108,0 \pm 18,4$  дБ (при ПДУ 92 дБ). Таким образом, дробильщики и смежные профессии испытывают умеренное вибрационное воздействие, накладывающееся на другие факторы.

Запыленность воздуха на участках рудоподготовки и дробления чрезвычайно высока. Концентрации пыли в помещении дробильно-сортировочного комплекса достигают  $C_{\text{м.р.}} = 14,9 \pm 2,3$  мг/м<sup>3</sup>, что соответствует классу 3.2 (в 3–4 раза выше ПДК 4,0 мг/м<sup>3</sup>). Содержание кристаллического  $\text{SiO}_2$  в пыли составляет до 10%, что усиливает её токсичность. У дробильщиков, машинистов конвейеров и подсобных рабочих концентрации пыли регулярно превышают ПДК в несколько раз. Это свидетельствует о недостаточной эффективности систем аспирации и герметизации оборудования. Пыль на фабрике широко распространена и затрагивает многих работников; очевидно, вентиляционные и пылеулавливающие системы нуждаются в модернизации. Таким образом, риск развития силикоза и других заболеваний лёгких на этих операциях критически высок и требует приоритетных мер.

Наиболее опасным химическим фактором технологических участков является цианистый водород (HCN), выделяющийся при сорбционном выщелачивании золота. В реагентном отделении замеры концентрации цианистого водорода показали  $C_{\text{с.с.}} = 5,40 \pm 0,97$  мг/м<sup>3</sup> при ПДК 0,3 мг/м<sup>3</sup>. Это в более 18 раз выше допустимого уровня, что соответствует классу 3.3 (критически вредные условия). У аппаратчиков обогащения и плавильщиков отмечено стабильное воздействие цианидов на уровне класса 3.3. Значительному (хотя и несколько меньшему) влиянию HCN подвержены смежные должности – мастер участка, оператор цианирования, работники хвостового хозяйства, подсобники – у них зафиксированы классы 3.1-3.2 по цианидам в воздухе рабочей зоны. Наличие такого экстремального химического риска означает реальную угрозу острых отравлений и предъявляет повышенные требования к системе промышленной безопасности. Даже кратковременное пребывание без защиты в зоне с концентрацией паров синильной кислоты  $> 3,0$  мг/м<sup>3</sup> ( $C_{\text{м.р.}} = 3,6 \pm 0,7$  мг/м<sup>3</sup>,  $C_{\text{м.р.}} = 4,5 \pm 0,9$  мг/м<sup>3</sup>) опасно для жизни. Поэтому необходим строгий контроль доступа, постоянный мониторинг воздуха и обеспечение работников эффективными средствами защиты (изолирующие дыхательные аппараты, газосигнализаторы).

Помимо цианидов, в лабораториях и вспомогательных участках присутствуют и другие химические опасности: кислотные пары, реагенты, продукты обработки. Хотя их концентрации невелики и в большинстве случаев удается поддерживать условия на уровне классов 2-3.1, суммарный химический фон технологических процессов заметно выше, чем на открытых работах.

Факторы трудового процесса на технологических участках также выражены существенно. Тяжесть труда у большинства рабочих профессий (дробильщики, машинисты мельниц, аппаратчики, операторы насосов, слесари-ремонтники) отнесена к классу 3.2. Это отражает высокие физические нагрузки: обслуживающий персонал переносит тяжести (реагенты, материалы), выполняет работы в стесненном пространстве, часто в вынужденных позах (например, при ремонте оборудования). Напряжённость труда у операторов технологических процессов и инженерно-технического персонала оценивается в среднем как класс 3.1, что обусловлено высокой ответственностью за ход процесса, необходимости постоянного контроля параметров и принятия оперативных решений. У руководителей технологических подразделений (начальники, мастера) напряжённость также велика вследствие жёстких требований безопасности и строгой регламентации работ с опасными веществами.

Сравнение данных по группе 2 с ранее рассмотренными открытыми работами показывает, что технологические участки являются наиболее опасными по комплексному воздей-

ствию факторов. Здесь одновременно действуют химические вещества 1-2 класса опасности (цианиды), пыль с токсичным компонентом, интенсивный шум, ощущаемая вибрация и большие физические нагрузки. Многие работники одновременно подвергаются воздействию нескольких вредных факторов: для одной должности зафиксированы цианиды класса 3.3, шум 3.1 и тяжесть труда 3.2. У дробильщиков одновременно отмечаются пыль 3.3, шум 3.2 и тяжесть труда 3.2. Стандартная аттестация рабочих мест присвоила бы таким профессиям класс 3.3 (по наихудшему фактору – цианидам или пыли), однако совокупный риск для здоровья этих работников выше, так как одновременное воздействие нескольких агрессивных факторов усиливает вредное воздействие (эффект синергизма). В условиях технологических участков, таким образом, формируется повышенная вероятность развития полиморбидной патологии – сочетания нескольких профессиональных заболеваний у одного работника (например, одновременное возникновение профессионального отравления, туюхости и вибрационной болезни). Это требует особого внимания при мониторинге здоровья.

Для вспомогательных и обслуживающих подразделений характерна высокая вариативность условий труда. Здесь представлен широкий спектр профессий – от электрослесарей и сварщиков до сотрудников лаборатории контроля качества и инженеров-строителей – и каждый из них может временно работать в разных условиях, перемещаясь по территории предприятия. Профиль рисков вспомогательного персонала не стационарен, а определяется текущей задачей и местом её выполнения. Тем не менее, анализ данных позволяет выделить некоторые общие черты.

Ряд вредных факторов присутствует и во вспомогательных службах, хотя обычно с меньшей интенсивностью, чем на основных производствах. Так, при обслуживании и ремонте оборудования с использованием электроинструмента уровень шума на рабочем месте электромонтеров и слесарей достигает в среднем  $L_{A_{\text{экв}}} = 86,8 \pm 3,6$  дБА (класс 3.2). У водителей технологического транспорта корректированный уровень вибрации измерена на уровне  $L_{A(11)} = 118,3 \pm 2,4$  дБ (класс 3.1). В ремонтных боксах отмечаются выбросы выхлопных газов от техники (главным образом CO, NO<sub>2</sub>): в пиковые моменты концентрации этих газов кратковременно превышают ПДК примерно в 3,8 раза, указывая на необходимость улучшения вентиляции. Таким образом, хотя в большинстве случаев фоновые уровни вредных факторов во вспомогательных зонах соответствуют классу 2 (допустимому), отдельные эпизоды работ создают кратковременные опасные ситуации, требующие внимания.

Химические факторы во вспомогательных подразделениях, как правило, локализованы и специфичны для определенных операций. Например, электрогазосварщики при ремонте обо-

рудования и в строительном отделе подвергаются воздействию сварочного аэрозоля (концентрации пыли и оксидов металлов соответствуют классу 3.1). Штукатуры-маляры в строительном подразделении работают с лакокрасочными материалами: концентрации паров толуола и других ЛОС могут достигать класса 3.1. Хотя такие воздействия эпизодические и кратковременные, они увеличивают общий риск для здоровья этих работников. Особого упоминания заслуживает «миграция» опасных факторов из основных производств: сотрудники отдела контроля качества (технологи и контролеры), а также некоторые ремонтники (например, слесари по ремонту систем вентиляции) периодически работают непосредственно в цехах ЗИФ и подвергаются воздействию цианидов наравне с основными работниками. В представленных данных есть пример: у слесаря по ремонту вентиляции зафиксирован класс 3.2 по цианидам – очевидно, не в своей мастерской, а во время работ на технологическом участке. Это означает, что вспомогательный персонал тоже несет риски от наиболее опасных факторов, даже если его постоянное рабочее место относительно безопасно (мастерская с классом 2). Данный факт выявляет проблему: статичная оценка условий труда (по основному месту работы) маскирует пиковые риски, возникающие при выездных или внеплановых работах.

Физические нагрузки у вспомогательных рабочих также значительны. Практически все ремонтники и строители – слесари, электромонтеры, монтажники, бетонщики, сварщики – имеют класс 3.1-3.2 по тяжести труда. Монтажные и ремонтные работы связаны с переноской тяжестей, работой с инструментом над головой, в неудобных позах (например, сварка в ограниченном пространстве), что обуславливает высокую нагрузку на опорно-двигательный аппарат. Этот фактор широко распространен: тяжелый физический труд присутствует во всех вспомогательных подразделениях, хотя носит эпизодический, разовый характер (в отличие от технологических участков, где физическая работа повторяется рутинно каждую смену).

В целом результаты по группе 3 показывают, что вспомогательные участки не свободны от профессиональных рисков, однако их профиль носит эпизодический характер. Здесь практически любые виды опасностей могут проявиться, но нерегулярно и в различных сочетаниях – в зависимости от выполняемых задач. Например, слесарь-ремонтник может неделю работать в комфортных условиях мастерской (класс 2), а затем на день выйти на реагентный участок ЗИФ и получить воздействие класса 3.2 по химическому фактору. Такой «динамичный» риск сложно отразить традиционными методами оценки, но он существенно влияет на здоровье (даже кратковременные интенсивные воздействия способны вызывать острые отравления или травмы при отсутствии надлежащих мер).

На основании проведенной оценки составлена обобщенная матрица доминирующих вредных факторов по группам производственных участков (табл. 1). В нее включены основные категории опасностей; качественно отражены их распространенность и относительная тяжесть в каждой группе подразделений.

Таким образом, технологические участки (группа 2) имеют наибольшую концентрацию наиболее тяжелых рисков: практически по всем факторам – химическим, пылевым, шумовым, физическим нагрузкам – они лидируют по уровню опасности. Открытые горные работы (группа 1) выделяются прежде всего высоким уровнем вибрации и тяжелого труда (в силу специфики использования техники и ручного труда на открытом воздухе), в то время как химические и пылевые нагрузки носят эпизодический, локальный характер. Вспомогательные участки (группа 3)

не характеризуются доминированием какого-либо одного фактора, однако практически любой из перечисленных рисков может возникнуть в зависимости от выполняемой работы; при этом обычно продолжительность воздействия ограничена рамками задания, а интенсивность несколько ниже, чем на основных производствах.

Для перехода от простого перечня рисков к инструменту управления ими был сформирован реестр профессиональных рисков предприятия с их ранжированием по приоритетности. В основу приоритизации положены два критерия: тяжесть потенциальных последствий (оцененная по максимальному классу условий труда для данного фактора) и масштаб распространенности (количество рабочих мест или работников, подвергающихся данному риску). Согласно этому подходу, риски класса 3.3 имеют высший приоритет, 3.2 – высокий, 3.1 – умеренный; кроме

Таблица 1 – Матрица доминирующих вредных факторов по группам рабочих мест

Вредный фактор	Открытые горные работы (группа 1)	Технологические участки (группа 2)	Вспомогательные участки (группа 3)
Химический фактор (пары реагентов, газы)	Низкая распространенность (единичные случаи)	Высокая распространенность и высокая тяжесть (класс 3.3) – доминирующий риск (цианиды и др.)	Средняя распространенность (зависит от задач; эпизодически на отдельных работах)
Пылевой фактор (промышленная пыль, SiO <sub>2</sub> )	Средняя распространенность (локальные превышения при бурении и дроблении)	Высокая распространенность и значительная тяжесть (класс 3.2-3.3) – постоянный фактор (дробилки, фабрика)	Средняя распространенность (задачно-зависимый; при ремонте, строительстве)
Производственный шум	Средняя распространенность (локально на отдельных работах)	Высокая распространенность и значительная тяжесть (класс 3.2) – большинство рабочих мест шумные	Высокая распространенность (задачно-зависимый; при работе с инструментом, техникой)
Вибрация общая/местная	Высокая распространенность и высокая тяжесть (класс 3.2) – основной физический фактор (карьерная техника)	Низкая распространенность (лишь на отдельных операциях)	Низкая распространенность (вибрация есть у водителей автотранспорта, класс 3.1)
Тяжесть трудового процесса (физические нагрузки)	Высокая распространенность (классы 3.1-3.2 у большинства рабочих)	Высокая распространенность и значительная тяжесть (класс 3.2, характерно для всех основных рабочих профессий)	Высокая распространенность (классы 3.1–3.2 у ремонтного и строительного персонала)
Напряженность трудового процесса (стресс, ответственность)	Высокая распространенность (класс 3.1-3.2, у водителей и ИТР)	Средняя распространенность (повышена у операторов, ИТР – класс 3.1)	Средняя распространенность (повышена у ИТР, руководителей – класс ~3.1)

## Экология и гигиена

того, фактор, присутствующий у десятков работников, ставится выше, чем фактор, опасный, но затрагивающий 1-2 человека.

Согласно таблице 2, первый (критический) приоритет присвоен риску, связанному с цианидом: он обладает максимальной тяжестью (3.3) и одновременно широко распространен (свыше 15 рабочих мест, включая разных специалистов). Второй по значимости риск – пыль (силикатная), класс 3.2, затрагивает более 10 рабочих мест (дробильные и буровые работы). Далее следуют: тяжелый физический труд (класс 3.2, практически повсеместен – >25 РМ); шум (3.2, >20 РМ на фабрике и в ремонте); вибрация (3.2, порядка 5-6 рабочих мест – в основном водители карьерных машин); высокая психоэмоциональная напряженность (3.2, >10 лиц – руководящий состав, операторы). Суммарно эти шесть рисков и определяют картину профессиональной опасности на предприятии. Именно на них должны быть сфокусированы главные управленические и технические решения по охране труда.

Таким образом, комплексный анализ условий труда на рассматриваемом горно-обогатительном комплексе подтвердил эффективность интегрального подхода к оценке профессиональных рисков. В отличие от стандартного отчета аттестации рабочих мест (где просто перечисляются факторы и классы условий), риск-ориентированный анализ сразу выявляет приоритетные направления профилактики.

Во-первых, профили рисков четко различаются по функциональным зонам предприятия.

Открытые горные работы характеризуются преимущественно физическими перегрузками, поэтому требуются меры защиты от вибрации и оптимизация режимов труда. Технологические участки – эпицентр одновременного действия множества факторов – нуждаются в усиленных программах химической безопасности, пылеподавления и снижения шума. Во вспомогательных службах важна гибкость системы управления рисками: необходима оценка риска перед каждой опасной задачей. Такой адресный подход соответствует современному менеджменту безопасности, когда корпоративная политика учитывает специфику подразделений. Например, для карьера приоритетна программа снижения вибрации (закупка техники с демпфирующими сиденьями, контроль технического состояния машин), тогда как для ЗИФ – программа химической безопасности (автоматизация подачи реагентов, герметизация оборудования, обучение персонала на случай утечек).

Во-вторых, результаты подтверждают необходимость строгого следования иерархии мер контроля (Hierarchy of Controls) для ключевых факторов риска. Например, при опасности класса 3.3 (цианиды) недопустимо ограничиваться только средствами индивидуальной защиты. В первую очередь следует устраниить или заменить опасный фактор (по возможности использовать менее токсичные реагенты, автоматизировать процессы, исключив контакт человека с цианидами). Затем внедряются инженерные решения: усиленная вентиляция, герметизация узлов об-

Таблица 2 – Ранжированный реестр основных профессиональных рисков

Приоритет (ранг)	Наименование риска	Класс условий труда	Распространенность (число РМ)	Наиболее уязвимые профессии
1 (критический)	Воздействие токсичных химических веществ (цианиды)	3.3	> 15	Аппаратчик обогащения, плавильщик, мастер участка, контролер ОКК, слесарь-ремонтник
2 (высокий)	Воздействие пылевых аэрозолей (респирабельная пыль, SiO <sub>2</sub> )	3.2	> 10	Дробильщик, машинист конвейера, подсобный рабочий, горнорабочий
3 (высокий)	Тяжесть трудового процесса (физические нагрузки)	3.2	> 25	Практически все рабочие профессии технологических, ремонтных и строительных подразделений
4 (высокий)	Производственный шум	3.2	> 20	Машинисты, дробильщики, слесари, электромонтеры, сварщики, аппаратчики
5 (значительный)	Общая вибрация (от технологической техники)	3.2	> 5	Машинисты и водители карьерной техники (экскаваторы, самосвалы и др.)
6 (значительный)	Напряженность трудового процесса (стресс, ответственность)	3.2	> 10	Руководители, ИТР, водители, операторы пультов управления

рудования, системы очистки газов. Лишь на последней линии обороны применяются СИЗ (противогазы, защитная спецодежда). Параллельно должна обеспечиваться готовность к авариям: предприятие обязано иметь план ликвидации возможных утечек, запас нейтрализующих веществ и обученный персонал для оказания первой помощи при отравлениях.

В-третьих, сочетанное воздействие нескольких факторов и связанный с этим синергизм рисков требуют специального учета. Стандартная гигиеническая классификация недооценивает суммарный риск, поэтому в предлагаемой модели предусмотрена интегральная оценка с учётом комбинированных влияний. Например, если работник одновременно подвержен нескольким факторам класса 3.2, общий риск условно повышается до 3.3. Исследования подтверждают подобный эффект: шум усиливает ототоксичность некоторых химических веществ, а вибрация в комбинации с токсинами приводит к более тяжелым неврологическим последствиям. Следовательно, модель управления рисками должна учитывать этот синергизм. Один из подходов – расчет сводного индекса риска для каждого рабочего места с введением весовых коэффициентов для комбинаций факторов. Практическая реализация такого метода требует дальнейших исследований, но очевидно, что работники под перекрестным влиянием множества опасностей являются особой группой риска, требующей повышенного внимания медико-профилактических служб (более частых медицинских осмотров, целевых оздоровительных программ).

В-четвертых, показана практическая ценность ранжированного реестра рисков (табл. 2). Его преимущество в том, что данные об условиях труда превращаются в конкретный план действий: каждая позиция реестра связана с комплексом профилактических мероприятий и ответственными исполнителями. Например, критический риск «цианиды» преобразован в цель – снизить воздействие до класса 3.2 за 3 года (индикатор – концентрация HCN); определены мероприятия: автоматизация дозирования реагентов, герметизация насосов, установка газоанализаторов. Аналогично, риск «пыль» трансформирован в цель – уменьшить запыленность мест дробильщиков на 50% за 2 года; предусматриваются модернизация аспирационных систем, внедрение орошения и применение новых респираторов. Таким образом, стратегические цели охраны труда вытекают непосредственно из анализа рисков. Международный стандарт ISO 45001 также ориентирует организации на постановку конкретных целей улучшения условий на основе оценки значимых рисков – это повышает эффективность управления.

Таким образом, интеграция данных об условиях труда в цикл PDCA ведет к непрерывному улучшению системы. Результаты замеров перестают быть формальностью «для галочки» и пре-

вращаются в действенный инструмент. Применяя подход «Plan-Do-Check-Act», предприятие после внедрения мер проводит повторные оценки (Check) и корректирует действия (Act), и процесс повторяется по кругу. В данном случае после реализации программ по приоритетным рискам проводится повторная аттестация условий труда. Если цели (снижение класса опасности или уровня воздействия) достигнуты не полностью, анализируются причины и принимаются дополнительные меры. Такой подход обеспечивает постепенное повышение безопасности труда.

Также необходимо учитывать психосоциальные риски, выходящие за рамки традиционных гигиенических факторов. Настоящее исследование лишь косвенно затронуло их через показатель «напряженность труда», частично отражающий стресс и эмоциональную нагрузку. При этом у руководителей и инженерно-технических работников отмечены высокие уровни психоэмоционального напряжения (класс 3.1-3.2). Международная практика признаёт, что хронический стресс, высокий темп работы при низком контроле, конфликтность в коллективе и другие психосоциальные факторы ощутимо влияют на здоровье. Европейские директивы и стандарт ISO 45003:2021 уже требуют учитывать их в системе управления рисками. Поэтому модель «здорового рабочего места» должна включать и психосоциальный компонент: оценивать удовлетворённость трудом, выявлять признаки эмоционального выгорания, мониторить показатели стресса. Систему управления профессиональными рисками следует расширить мероприятиями по снижению стресса: обучением руководителей эффективным коммуникациям, программами поддержки психического здоровья персонала, развитием культуры безопасности. Это повысит эффективность модели и приблизит предприятие к подлинно здоровому рабочему месту – безопасному, благоприятному и комфортному для человека.

### ВЫВОДЫ

1. Комплексная оценка условий труда на горно-обогатительном комплексе позволила выявить ведущие профессиональные риски. К числу наиболее значимых отнесены: интенсивный шум (класс 3.2), вибрация от техники (класс 3.2), высокая запыленность (с содержанием до 10% кремний диоксида) до  $14,9 \pm 2,3 \text{ мг}/\text{м}^3$  (класс 3.2-3.3), пары цианидов ( $\text{HCN} > 3,0 \text{ мг}/\text{м}^3$ , класс 3.3), физическая перегрузка (класс 3.2), и психоэмоциональное напряжение (класс 3.2).

2. Зафиксированные превышения нормативов подтверждают высокий риск профзаболеваний – вибрационной болезни, силикоза, тугоухости и отравлений. Построенный на интегральной оценке реестр рисков позволил установить приоритеты профилактики: снижение воздействия цианидов и пыли, снижение физической нагрузки, борьба с шумом и вибрацией, мероприятия по снижению стресса.

3. Внедрение этих мер должно происходить в рамках системы непрерывного улучшения. Повторный аудит условий труда позволит оценить достигнутый эффект и скорректировать действия по циклу PDCA. Такой подход обеспечивает поступательное улучшение безопасности.

4. Настоящее исследование подтвердило, что интегральный подход с учетом HQ/HI и охвата всех факторов дает более полное представление о рисках и позволяет точнее нацелить профилактические меры. Модель риск-ориентированного управления существенно усиливает фактическую защищенность работников.

5. Развитие модели предполагает включение психосоциальных факторов – организационного стресса, психологического климата, благополучия. Это расширит рамки профилактики, охватывая не только травмы и профзаболевания, но и такие риски, как эмоциональное выгорание и снижение работоспособности. Таким образом, комплексный подход к управлению профессиональными рисками становится основой для формирования подлинно «здорового рабочего места».

### **Вклад авторов:**

Е. Ж. Отаров, Ж. Ж. Жарылкасын, Ч. У. Исмаилов – концепция и дизайн исследования.

Ж. Ж. Жарылкасын, А. В. Алексеев, У. С. Шайхаттарова, М. К. Тилемисов, А. Ж. Шадетова, Ж. Б. Сабиров – сбор и анализ материала.

Ч. У. Исмаилов, У. С. Шайхаттарова – написание текста, обработка текста.

### **Конфликт интересов:**

Конфликт интересов не заявлен.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ибраев С.А., Отаров Е.Ж., Тилемисов М.К., Жарылкасын Ж.Ж., Изденов А.К., Алексеев А.В. Условия труда и состояние здоровья работников горно-обогатительных производств. *Медицина и экология*. 2017; 4: 16-26.

2. Коршунов Г.М., Черкай З.Н., Мухина Н.В., Гридина Е.Б., Скударнов С.М. Профессиональные болезни рабочих в горнодобывающей промышленности. *ГИАБ*. 2012; 2: 5-10.

3. Rantanen J., Fedotov I. A. *Standards, Principles and Approaches in Occupational Health Services* //<https://www.iloencyclopaedia.org/part-ii-44366/occupational-health-services> (дата обращения: 02.05.2025).

4. Измеров Н.Ф., Денисова Э.И. Профессиональный риск для здоровья работников. М.; 2003: 448.

5. Методические рекомендации «Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса» //[https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=35193](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=35193)

093 (дата обращения: 02.05.2025).

6. Р 2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду //<http://docs.cntd.ru/document/1200037399> (дата обращения: 02.05.2025).

7. International Organization for Standardization, ISO/IEC 31010:2019 Risk assessment techniques. Geneva; 2019: 127.

8. International Labour Organization (ILO). Work-related stress: a collective challenge. Geneva; 2016: 63.

9. Измеров Н.Ф., Бухтияров И.В., Прокопенко Л.В. Реализация Глобального плана действий ВОЗ по охране здоровья работающих в Российской Федерации. *Медицина труда и промышленная экология*. 2015; 9: 4-10.

### **ТРАНСЛITERАЦИЯ**

1. Ibraev S.A., Otarov E.Zh., Tilemisov M.K., Zharylkasyn Zh.Zh., Izdenov A.K., Alekseev A.V. Uslovija truda i sostojanie zdorov'ja rabotnikov gorno-obogatitel'nyh proizvodstv. *Medicina i jekologija*. 2017; 4: 16-26.

2. Korshunov G.M., Cherkaj Z.N., Muhina N.V., Gridina E.B., Skudarnov S.M. Professional'nye bolezni rabochih v gornodobyvajushhej promyshlennosti. *GIAБ*. 2012; 2: 5-10.

3. Rantanen J., Fedotov I. A. *Standards, Principles and Approaches in Occupational Health Services* //<https://www.iloencyclopaedia.org/part-ii-44366/occupational-health-services> (дата обращения: 02.05.2025).

4. Izmerov N.F., Denisova Je.I. *Professional'nyj risk dlja zdorov'ja rabotnikov*. M.; 2003: 448.

5. Metodicheskie rekomendacii «Gigienicheskie kriterii ocenki i klassifikacija uslovij truda po pokazateljam vrednosti i opasnosti faktorov proizvodstvennoj sredy, tiazhesti i naprjazhennosti trudovo-go processa» //[https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=35193093](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=35193093) (дата обращения: 02.05. 2025).

6. Р 2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду //<http://docs.cntd.ru/document/1200037399> (дата обращения: 02.05.2025).

7. International Organization for Standardization, ISO/IEC 31010:2019 Risk assessment techniques. Geneva; 2019: 127.

8. International Labour Organization (ILO). Work-related stress: a collective challenge. Geneva; 2016: 63.

9. Izmerov N.F., Buhtijarov I.V., Prokopenko L.V. Realizacija Global'nogo plana dejstvij VOZ po ohrane zdorov'ja rabotajushhih v Rossijskoj Federacii. *Medicina truda i promyshlennaja jekologija*. 2015; 9: 4-10.

Поступила 20.12.2024

Направлена на доработку 13.03.2025

Принята 28.04.2025

Опубликована online 30.12.2025

Ye. Zh. Otarov<sup>1</sup>, Zh. Zh. Zharilkassyn<sup>1</sup>, Ch. U. Ismailov<sup>1\*</sup>, A. V. Alekseev<sup>1</sup>, M. K. Tilemisov<sup>1</sup>,  
A. Zh. Shadetova<sup>1</sup>, Zh. B. Sabirov<sup>1</sup>, U. S. Shaikhattarova<sup>2</sup>

**COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF WORKING CONDITIONS AND RANKING OF OCCUPATIONAL RISKS AS THE BASIS FOR RISK-ORIENTED HEALTH MANAGEMENT IN THE MINING INDUSTRY**

<sup>1</sup>National Center for Occupational Hygiene and Occupational Diseases NC JSC (100012, Republic of Kazakhstan, Karaganda, G. Mustafina str., 15; e-mail: info@naoncgt.kz)

<sup>2</sup>Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (161200, Republic of Kazakhstan, Turkistan c., B. Sattarkhanova str., 29; e-mail: info@ayu.edu.kz)

**\*Chingiz Usmanovich Ismailov** – National Center for Occupational Hygiene and Occupational Disease NC JSC; 100012, Republic of Kazakhstan, Karaganda, G. Mustafina str., 15; e-mail: chingiz.ismail@gmail.com

The article addresses proactive management of work-related health hazards in the mining and metallurgical sector. This study applies an integrated risk assessment approach to form the foundation of a risk-oriented health management model. The analysis was conducted at a full-cycle gold mining and processing plant (open-pit mine, beneficiation, and hydrometallurgical units), using comprehensive hygienic evaluation of physical, chemical, and ergonomic factors.

Results identified the most significant health hazards: whole-body vibration and intense noise (class 3.2), high levels of respirable silica dust (class 3.2-3.3), and exposure to toxic chemicals (cyanide, class 3.3). Elevated physical workload and work intensity (class 3.2-3.3) were also found among operators and managers. Multiple exceedances of hygiene standards confirm a high risk of occupational diseases (vibration syndrome, hearing loss, silicosis, etc.).

Based on the integrated risk assessment, a prioritized register of occupational risks was compiled. Key practical measures are recommended: enhanced cyanide control (sealed processing systems, automated reagent dosing, continuous air monitoring), dust suppression and improved ventilation, reduction of noise and vibration exposures, ergonomic changes to ease heavy labor, and stress-management programs for staff. These interventions are proposed within a continuous improvement framework.

The study demonstrates that this comprehensive, risk-oriented model provides a fuller understanding of workplace conditions and focuses preventive efforts on critical hazards. Such a model forms a reliable foundation for a «healthy workplace» environment and significantly enhances actual worker protection.

**Keywords:** occupational risk; mining industry; occupational morbidity; working conditions; risk management; integrated assessment

Е. Ж. Отаров<sup>1</sup>, Ж. Ж. Жарылқасын<sup>1</sup>, Ч. У. Исмаилов<sup>1</sup>, А. В. Алексеев<sup>1</sup>, М. К. Тилемисов<sup>1</sup>,  
А. Ж. Шадетова<sup>1</sup>, Ж. Б. Сабиров<sup>1</sup>, У. С. Шайхаттарова<sup>2</sup>

**ТАУ-КЕН ӨНЕРКӨСІБІ ЖҰМЫСКЕРЛЕРІНІҢ ДЕНСАУЛЫҒЫН ҚАУІПКЕ БАҒДАРЛАНГАН  
БАСҚАРУДЫН НЕГІЗІ РЕТИНДЕ ЕҢБЕК ЖАГДАЙЛАРЫН КЕШЕНДІ БАҒАЛАУ ЖӘНЕ КӘСІПТІК  
ҚАУІПТЕРДІ САРАЛАУ**

<sup>1</sup>«Еңбек гигиенасы және кәсіптік аурулар үлттық орталығы» KeAK (100012, Қазақстан Республикасы, Караганды қ., F. Мустафин к-си, 15; e-mail: info@naoncgt.kz)

<sup>2</sup>Қожа Ахмет Ясауи атындағы халықаралық қазақ-турік университеті (161200, Қазақстан Республикасы, Туркістан қ., Б. Саттарханов к-си, 29; e-mail: info@ayu.edu.kz)

**\*Чингиз Усманович Исмаилов** – «Еңбек гигиенасы және кәсіптік аурулар үлттық орталығы» KeAK; 100012, Қазақстан Республикасы, Караганды қ., F. Мустафин көш., 15; e-mail: chingiz.ismail@gmail.com

Бұл мақалада тау-кен байыту кәсіпорны жұмыскерлерінің денсаулығын қауіпке бағдарланған басқару жүйесін қалыптастыру үшін еңбек жағдайларын интегралды бағалау тәсілін ғылыми тұрғыдан негіздеу мәселеі қарастырылады. Зерттеу алтын өндірудің толық циклын қамтитын өндірісте (карьерден бастап байыту фабрикасына дейін) жүргізілді. Өндірістік ортаның физикалық, химиялық және эргономиялық факторларына кешенді гигиеналық мониторинг жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері денсаулыққа елеулі қатер тәндіретін негізгі факторларды анықтауға мүмкіндік берді: жалпы вибрация, жоғары деңгейдегі шу, құрамында кремний диоксиді бар шаш, сондай-ақ уытты химиялық реагенттер. Сонымен қатар, операторлар мен басқарушы

## **Экология и гигиена**

---

қызметкерлерде еңбек ауыртпалығы мен жүйке-психикалық жүктеменің жоғары деңгейі (еңбек жағдайының 3.2-3.3 кластары) тіркелді. Гигиеналық нормативтердің бірнеше мәрте асып тұсуі вибрациялық ауру, көренілдік, силикоз және басқа да кәсіби аурулардың даму қаупінің жоғары екенін көрсетеді.

Интегралды бағалау негізінде кәсіптік қауіппердің сараланған тізілімі құрылыш, негізгі қатерлердің алдын алуға бағытталған практикалық ұсыныстар өзірленді: цианидтерден қорғануды қүшету, шаш басу жүйелерін жетілдіру, шуды және вибрацияны азайту, ауыр физикалық жүктемені женеңдіту және психоэмоционалдық стрессті төмендешу шаралары. Бұл шараларды еңбек жағдайларын үздіксіз жақсарту жүйесі аясында енгізу ұсынылады.

Зерттеу нәтижелері кәсіби қауіпперді басқарудағы кешенді әдістердің жұмыс орындарының жағдайын неғұрлым толық бағалауға мүмкіндік беретінін және алдын алу шараларын тиімді бағыттауға жағдай жасайтынын дәлелдейді. Мұндай модель «дені сай жұмыс орнын» құрудың сенімді негізі бола алады.

*Кілт сөздер:* кәсіби қауіп; тау-кен өнеркәсібі; кәсіби аурушаңдық; еңбек жағдайлары; гигиеналық бағалау; физикалық және химиялық факторлар; интегралды көрсеткіш; аурулардың алдын алу