

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩ. ОБЗОР

К.т.н. И.И. Потапов (ipotapov37@mail.ru),

М.М. Захарова, к.т.н. **А.Г. Юдин**

(Всероссийский институт научной и технической информации РАН)

С развитием цивилизации все более актуальной становится проблема прогнозирования масштабности ожидаемых изменений климата и связанного с ним изменения среды обитания человека. Речь идет о возникновении и распространении нежелательных природных явлений, приводящих к гибели живых существ и причиняющих человеку масштабные экономические ущербы. Такие явления получили название природных катастроф. Известно, что в историческом плане природные аномалии различного пространственного и временного масштабов играли определенную роль в эволюции природы, вызывая и активизируя механизмы регуляции природных систем. С развитием промышленности и возрастанием плотности населения эти механизмы претерпели значительные изменения и приобрели угрожающий жизни характер. Это связано с нарастанием и распространением амплитуды антропогенных возмущений в окружающей среде.

В течение последнего десятилетия произошел ряд катастрофических разрушений дамб хвостохранилищ.

Хвостохранилища - комплекс сооружений и оборудования, предназначенный для хранения или захоронения радиоактивных, токсичных и других отходов обогащения полезных ископаемых на горно-обогатительных комбинатах из поступающей добытой руды. Хвостохранилище обычно устраивается в понижениях рельефов – ущельях, распадках, котловинах, на расстоянии нескольких километров от обогатительной фабрики, отгораживается дамбой, которая намывается из хвостов и дополнительно укрепляется. В хвостохранилищах постепенно происходит оседание твердой фазы хвостов, иногда с помощью специальных добавляемых реагентов – коагулянтов и флокулянтов. Оставшаяся вода подвергается очистки и сбрасывается в местные водоемы или возвращается на обогатительную фабрику для технологических нужд.

В настоящее время во всем мире особенно остро стоит проблема обеспечения экологической безопасности хвостохранилищ и удерживающих их дамб на горнодобывающих и горно-обогатительных предприятиях. Поскольку накопленные отходы являются потенциальным сырьем, после закрытия горнодобывающих или горно-обогатительных предприятий хвостохранилища часто сохраняют с расчетом на то, что с течением времени появятся технологии, которые позволят использовать их компоненты.

Данный обзор составлен на основе отбора и изучения данных научных статей и обзоров зарубежных ученых и специалистов ряда стран мира в соответствии с выполнением планов научной деятельности ВИНТИ РАН.

1. Катастрофические разрушения хвостохранилищ

С развитием цивилизации все более актуальной становится проблема прогнозирования масштабности ожидаемых изменений климата и связанного с ним изменения среды обитания человека. В первую очередь речь идет о возникновении и распространении нежелательных природных явлений, приводящих к гибели живых существ и причиняющих человеку масштабные экономические ущербы. Такие явления получили название природных катастроф. Известно, что в историческом плане природные аномалии различного пространственного и временного масштабов играли определенную роль в эволюции природы, вызывая и активизируя механизмы регуляции природных систем. С развитием промышленности и возрастанием плотности населения эти механизмы претерпели значительные изменения и приобрели угрожающий жизни характер. Это связано с нарастанием и распространением амплитуды антропогенных возмущений в окружающей среде.

Глобальная экологическая перспектива за последние десятилетия все более омрачается нарастающей частотой катастрофических явлений в природе и непрерывно возрастающей их масштабностью, приводя к увеличению риска больших потерь в экономике и человеческих жизней, а также к нарушениям социальной инфраструктуры.

В современном мире природные катастрофы можно разделить на два класса: возникающие по естественным причинам и спровоцированные деятельностью человека. С учетом сильной взаимозависимости антропогенно- и природно- обусловленных факторов выделение этих классов становится все более условным. Тем не менее, разрабатываются различные критерии опасности катастрофического природного явления. Среди них можно указать на понятия *поражающего фактора*, *количество погибших*, *уровень экономического ущерба* и т.п. Именуются попытки ввести шкалу катастрофичности природного явления, используя совокупность таких показателей, как число погибших и уровень экономического ущерба. Такие шкалы, применяемые во многих странах, имеют различные оценки природных катастроф.

В современных условиях функционирования системы «климат-природа-общество» практически невозможно разделить природные и антропогенные процессы, взаимодействие между которыми в значительной мере определяет динамику многих стихийных бедствий. Уровень этого взаимодействия определяется оснащенностью конкретного региона защитными средствами и готовностью населения к опасностям, связанным с экстремальным событием. Под экстремальным событием понимается любое событие в геофизической системе, характеристики которого приобретают сравнительно большие отклонения от средних значений. Но уровень катастрофичности этих отклонений зависит от восприятия и оценки опасности природного явления населением региона, которые определяются совокупностью экономических, технических и морально-этических параметров. Известно, что население, проживающее в местах, где природные катастрофы случаются с определенной повторяемостью, и население территорий с низкой опасностью появления чрезвычайных ситуаций воспринимают их по-разному, т.е. шкалы опасности для них разные.

Универсальной классификации природных катастроф не существует. Каждый тип природной катастрофы обычно классифицируется по его мощности. Например, согласно международному соглашению тропические циклоны классифицируются по силе ветра.

Формализованное решение задачи классификации природных катастроф требует введения количественных градаций для процессов в окружающей среде. Такие попытки делаются при определении типов струйных воздушных течений, при создании синоптических карт и при оценке характеристик многих атмосферных явлений. Знание глобальной структуры воздушных течений в ее динамике дает основу для прогнозирования катастрофических явлений атмосферного происхождения.

Природные катастрофы в общепринятом определении, безусловно, делятся на категории. К крупным масштабным катастрофам относятся явления в окружающей среде, приводящие к гибели тысяч людей и разрушению жилищ с существенным для данного региона экономическим ущербом. Отсюда, конечно, следует, что шкала масштабности природных катастроф зависит от уровня экономического развития региона, определяющего степень защищенности населения от катастрофических природных явлений. Поэтому изучение феноменов, связанных с природными катастрофами, должно сопровождаться анализом уровня бедности населения данного региона. Результаты исследований, накопленные за последние десятилетия, показывают, что в слабо развитых странах зависимость потерь от природных катастроф существенно выше, чем в экономически развитых регионах. Если учесть, что за последнее десятилетие число и масштабность природных катастроф возросли примерно в 5 раз, а их опасность – в 9 раз, то становится ясным, какие опасности ожидают население этих стран в ближайшем будущем. Поэтому прогноз и предупреждение кризисных явлений в целом по земному шару должно быть предметом озабоченности всех стран, независимо от их экономического развития / 1 /.

В течение последнего десятилетия произошел ряд катастрофических разрушений дамб хвостохранилищ. Появилась информация о прогнозировании прорыва хвостохранилищ с учетом заданного диапазона температуры, который явно будет нарушен в связи с изменением климата. Необходимы доступные системы мониторинга, а также методы оценки риска для населенных пунктов, находящихся ниже по течению от этих сооружений. В последние годы доступность и точность информации дистанционного зондирования увеличились, а ее стоимость снизилась.

Специалистами из Перу *Lumbroso Darren, Collell Marta Roca, Petkovsek Gregor, Davison Mark, Liu Ye, Goff Craig, Wetton Mark* представлен обзор «**DAMSAT: глаз в небе для мониторинга дамб хвостохранилищ**» (*An Eye in the Sky for Monitoring Tailings Dams*) / 2 /. **DAMSAT**- сетевая система, которая объединяет данные наблюдения Земли и другие данные, чтобы помочь правительствам и горнодобывающим компаниям контролировать хвостохранилища и оценивать риски, которые они представляют в нижнем течении реки. Разработанные методы апробируются в Перу на нескольких хвостохранилищах с общей целью улучшения процесса принятия решений и обмена информацией в отношении управления этими структурами. Взаимодействие с перуанскими заинтересованными сторонами показало, что DAMSAT предоставляет инструменты, которые могут помочь государственным органам снизить риски и повысить устойчивость добычи полезных ископаемых.

Британская компания HR Wallingford, инженеринговая компания, занимающаяся вопросами естественной гидродинамики, совместно с Космическим агентством Великобритании приступит к мониторингу дамбы в Перу. В системе используются технологии наблюдения за Землей, включая анализ спектральных

характеристик и следов железа по спутниковым снимкам, а также данных от навигационных систем. Это дополняется использованием местных устройств, работающих в режиме реального времени для получения четкой картины текущей ситуации. Такое партнерство нацелено на масштабирование мониторинга на другие дамбы в этом регионе, а в последствии - во всем мире.

Gildeh Hossein Kheirkhah, Halliday Alexandra, Arenas Alfredo, Zhang Hua представили «**Анализ прорыва хвостохранилища: обзор методов, практики и неопределенностей**» (Tailings Dam Breach Analysis: A Review of Methods, Practices, and Uncertainties) / 3 /. Авторы отмечают, что недавние катастрофические отказы хвостохранилищ высветили критическую роль, которую инженеры-разработчики дамб могут играть в обеспечении безопасности населения, и побудили отрасль, занимающуюся отходами шахт, оценить и улучшить практику анализа прорыва дамбы хвостохранилища (АПДХ). По мере того, как отрасль движется к стандарту отсутствия катастрофических отказов, критически важно, чтобы практикующие специалисты, владельцы и операторы имели единое понимание при проведении АПДХ для обеспечения высокого уровня доверия в населенных пунктах и окрестностях действующих или закрытых объектов. В настоящее время существует неопределенность в отношении стандартной отраслевой практики проведения соответствующего АПДХ. Представлен обзор доступных в настоящее время подходов и моделей для АПДХ, а также случаев, когда целесообразно использовать тот или иной метод. Также представлен критический обзор ключевых проблем АПДХ (оценка объема попусков, разработка гидрографа и расчет трансформации гидрографа прорыва вниз по течению). Статья призвана стать подробным изложением того, что известно о АПДХ, и справочным источником для инженеров и исследователей.

Прорывы дамб хвостохранилищ Мариана и Брумадиньо в Минас-Жерайсе (Бразилия) имели серьезные экологические последствия и привели к многочисленным человеческим жертвам. Что следовало или могло быть сделано для предотвращения подобных несчастных случаев? В работе *Jair Carlos Koppe* «**Уроки, извлеченные из двух крупных аварий на хвостохранилищах в Бразилии**» (Lessons Learned from the Two Major Tailings Dam Accidents in Brazil) / 4 / обсуждается практика управления, соответствующее законодательство и надзор за хвостохранилищами в Бразилии, а также возможные причины прорывов этих дамб и оценивается, позволят ли меры, принятые Национальным агентством по добыче полезных ископаемых (ANM), предотвратить больше таких аварий. Интенсивное расследование этих несчастных случаев выявило некоторые сходства и расхождения. Причиной отказа обоих хвостохранилищ был поток разжижения пород. Учитывая, что многие другие хвостохранилища находятся в аналогичных условиях, вполне вероятно, что могут произойти дальнейшие сбои, несмотря на меры, принятые ANM.

В работу *Fortuna John, Waterhouse John, Chapman Peter, Gowan Mike*. «**Применение практической гидрогеологии при проектировании хвостохранилища и управлении им**» (Applying Practical Hydrogeology to Tailings Storage Facility Design and Management) / 5 / отмечено, что гидрогеология играет важную роль в проектировании хвостохранилища. Представлены гидрогеологические соображения при проектировании и эксплуатации хвостохранилищ, а также некоторые основы определения характеристик площадки на этапе проектирования, которые могут помочь снизить серьезность взаимодействия подземных вод и хвостохранилищ. Также приведены примеры взаимодействия хвостохранилищ и подземных

вод в рамках проектов хвостохранилищ и активных горных работ по всему миру, чтобы проиллюстрировать ключевые моменты. Эти примеры включают успешное применение гидрогеологических принципов во время проектирования и эксплуатации, а также неожиданные взаимодействия между элементами конструкции хвостохранилища и грунтовыми водами, где гидрогеология не была должным образом учтена.

Данные о воздействии шахтных фильтратов на карбонатный водоносный горизонт на юго-востоке Испании представлены специалистами из Испании *D-Iiaz-Puga M. A., Pulido-Bosch A., Vallejos A., Sola F., Daniele L., Sim-Ion M., Garc-Iia I / 6 /*. Отмечено, что в октябре 1966 года сильные осадки (190 мм за 24 часа) разрушили старую удерживающую конструкцию хвостохранилища в горнодобывающем районе Эль-Сегундо в западном секторе Сьерра-де-Гадор в Испании, вызвав наводнение. Смесь, богатая Pb-F, протекала более 12 км по высохшим руслам рек, нанося ущерб инфраструктуре и посевам. В марте 2010 г., более 40 лет спустя, из скважин и источников была взята 41 проба, а также восемь проб донных отложений в районе хвостохранилища и вдоль высохших русел рек. Уровни фторида в грунтовых водах этого района были близки к 1 ppm, что превышало нормальные геогенные уровни этого района, а в некоторых случаях превышало максимальное рекомендованное ВОЗ значение для питьевой воды, несмотря на время, прошедшее с момента события. Менее подвижные элементы, такие как свинец и цинк, также имели более высокие концентрации в зоне, затронутой загрязнением илом, но не превышали существенно фоновые геогенные значения.

В работе *Ol-Iias Manuel, C-Ianovas Carlos R., Dolores Basallote M.* «**Изменение качества поверхностных и подземных вод в реках Агрио и Гуадиамар после разлива на шахте Азнальколлар (юго-запад Испании)**» / 7 / представлены данные по извлеченным урокам. Отмечено, что в результате прорыва дамбы хвостохранилища на руднике Азнальколлар (Юго-западная Испания) в 1998 г. было высвобождено около 6 миллионов м³ пиритового шлама и кислой воды, что привело к огромной экологической катастрофе в реках Агрио и Гуадиамар. Также пострадал небольшой водоносный горизонт, образованный недавними аллювиальными отложениями обеих рек. Рудник закрылся в результате разлива, но в настоящее время разрабатывается новый проект его повторного открытия. Территория, покрытая разливом (около 60 км в длину), позже была преобразована в охраняемый зеленый коридор, который соединяет два важных природных заповедника. В работе описывается эффективность предпринятых реабилитационных мероприятий и анализируется эволюция качества воды в этом районе с 1980 года (почти за 20 лет до аварии). Уровни загрязнения как в поверхностных, так и в подземных водах резко снизились в первые годы после разлива с последующей стабилизацией уровней загрязнения. В настоящее время концентрации загрязняющих веществ в поверхностных водах даже ниже, чем те, которые были зарегистрированы до разлива, из-за прекращения добычи и эффективности рекультивации. Несмотря на это быстрое и выдающееся улучшение, аллювиальный водоносный горизонт вблизи зоны добычи все еще загрязнен, с кислыми значениями pH в некоторых областях, вероятно, из-за медленного движения грунтовых вод вместе с существованием некоторых районов с загрязненными почвами. Поскольку этот водоносный горизонт питает потоки, некоторые загрязнители (например, Al, Cd, Zn) достигают поверхностных вод. Рекультивация загрязненных

почв, а также аллювиального водоносного горизонта в этом секторе настоятельно рекомендуется для достижения полной реабилитации пораженной территории.

Уменьшение количества воды в хранилище измельченных хвостов как отмечают *Donald East, Ruben Fernandez* / 8 / - это основной способ снизить риск катастрофического отказа. Кроме того, значительным фактором, влияющим на выдачу разрешений и разработку новых рудников или расширение существующих рудников, является ограниченная доступность воды в некоторых богатых полезными ископаемыми странах, что привело к недавним достижениям в управлении водными ресурсами и совершенствованию практики эксплуатации. Снижение количества воды может использоваться для сгущения суспензии до различной степени содержания твердых веществ, вплоть до сильно сгущенной пасты с использованием обычных или поршневых насосов прямого вытеснения для транспортировки хвостов или фильтров для механического уменьшения количества воды и транспортировки хвостов на грузовиках или конвейерах. Предлагается метод оптимизации водопользования, а также оценки и снижения рисков проекта на стадии концептуальной разработки как для уплотненных, так и для отфильтрованных в хранилище измельченных хвостов.

По данным работы *Galera Jos~le Miguel, Fernando de la Fuente, Garc~lia Juan, Calleja Manuel, Pozo Vanesa* «**Проектирование и строительство дамбы хвостохранилища над древним хвостохранилищем на шахте Ла-Паррилья**»/ 9/ шахта Ла-Паррилья - это вольфрамовый и оловянный рудник, расположенный на западе **Испании**. Хвостохранилище имеет общую мощность 3 млн. кубометров и будет реализовано в четыре этапа. Основным ограничением при проектировании и строительстве дамбы хвостохранилища является то, что она была построена поверх существующей дамбы 1980-х годов. Строительные работы включали удаление и замену старых хвостохранилищ в южной части объекта, улучшение грунта гравийными колоннами на площади около 10 000 м² и строительство дамбы. В статье описаны основные аспекты проектирования и строительства, включая мониторинг, до завершения строительства плотины в июне 2019 года.

Медный проект Лас-Крусес столкнулся с рядом важных проблем за свою 20-летнюю историю разработки и эксплуатации / 10 /. С самого начала на инженерное проектирование и планирование проекта оказало большое влияние более раннее разрушение дамбы близлежащего хвостохранилища Лос-Фрейлес и забота об охране окружающей среды. Успешное проектирование, строительство и эксплуатация поверхностного хвостохранилища с сухой укладкой, первого в своем роде в Испании, стали ключевыми факторами в восстановлении доверия местных сообществ к горнодобывающей промышленности и в получении социальной лицензии на продолжение добычи полезных ископаемых. В настоящее время ресурсы открытого карьера почти исчерпаны, и в настоящее время ведутся новые подземные работы и возобновленная гидрометаллургическая установка, позволяющие продлить срок службы проекта более чем на 15 лет, чтобы облегчить добычу первичных полиметаллических ресурсов под вторичными сульфидами. Этот проект потребует значительного изменения мышления всех заинтересованных сторон, включая новый подход к управлению хвостохранилищами, который позволит Лас Крусесу извлечь выгоду из синергии между засыпкой шахт, удалением хвостохранилищ и охраной окружающей среды.

В работе *Joaqu~lin Mart~li, Francisco Riera, Francisco Mart~linez*. «**Интерпретация обрушения хвостохранилища Асналькольяр (Испания)**» / 11 / представлены данные по исследованию механизмов и причин внезапного обрушения

хвостохранилища Асналькольяр. Дамба претерпела смещения до 55 м на длине 700 м, выпустив большое количество кислых вод и 5,5 миллионов м³ пирита и пирокластических хвостов. Это был прогрессирующий тип разрушения, допущенный хрупкой реакцией предварительно консолидированных и цементированных голубых глин Гвадалквивира и высоким поровым давлением, возникшим в результате неполного уплотнения основания дамбы. Особые трудности моделирования были вызваны необходимостью учитывать деформационное разупрочнение глин. Результаты показывают, что, хотя время разрушения можно было приблизительно определить с использованием эквивалентных пластичных свойств, предсказание неглубокой плоской геометрии наблюдаемой поверхности разрушения потребовало бы точного представления хрупкого отклика. Авария вызвала ожигание хвостов, которое ускорилось более чем на 0,1 г. Этот переход был смоделирован путем перехода от подхода связанных эффективных напряжений, использующего неявное интегрирование, к формулировке полного напряжения с использованием явного решателя.

В работе *Yao Chi, Wu Ligong, Yang Jianhua, Xiao Lixing, Liu Xiaofeng, Jiang Qinghui, Zhou Chuangbing* «Влияние размера частиц хвостов на прорывы ограждающей дамбы хвостохранилища» / 12 / представлены данные проведенной серии физических испытаний с использованием трех различных размеров частиц для изучения влияния размера хвостохранилища на процесс прорыва дамбы хвостохранилища, подвергнутого переполнению. Кроме того, процесс прорыва был смоделирован с помощью математической модели механики жидкости. Результаты испытаний показали, что с увеличением размера хвостохранилища режим разрушения постепенно менялся от эрозии зарубки к эрозии поверхности, в то время как овраг, прорезанный водой, имел большее отношение ширины к глубине. Кроме того, размер частиц также влиял на характеристики процесса выпуска и его продолжительность. Результаты численного моделирования в основном соответствовали результатам физической модели как в отношении процесса выпуска, так и во времени его продолжительности. Сравнение показывает, что численный метод может быть полезен для других исследований по выходу из строя хвостохранилищ.

Kym Lesley Morton в работе «Использование точного контроля порового давления для снижения риска на хвостохранилищах» / 13 / отмечает, что простой мониторинг движения стены дамбы хвостохранилища не устраняет причину разрушения дамбы хвостохранилища и, следовательно, никогда не будет эффективным методом уменьшения или предотвращения разрушения. Более эффективен мониторинг причин сбоев. Основная причина разрушения дамбы хвостохранилища - неустойчивость откоса, вызванная слишком большим количеством воды в неполюженном месте. Точный контроль порового давления и давления (веса) воды на откосах хвостохранилища и построение линий выкидных линий ниже и выше по потоку от хвостохранилища может помочь в своевременном вмешательстве для предотвращения или отсрочки отказа. Удаленный мониторинг, связанный с искусственным интеллектом и робототехникой, для включения насосов и открытых водостоков для устранения и устранения причины сбоя, может помочь снизить риск. Установка многоточечных пьезометров по точной схеме позволяет строить эквипотенциальные линии и линии потока в трех измерениях. Каждое хвостохранилище уникально и требует своего собственного проекта мониторинга, который должен быть адаптирован к возрасту, структуре и конкретным причинам риска. Система мониторинга может быть соединена с системой отчетно-

сти, чтобы значительно снизить риск сбоя как на старых, так и на активных площадках.

Распределение хвостов по размерам может быть изменено для значительного уменьшения площади поверхностного хранения и риска катастрофического прорыва дамбы хвостохранилища. Технология полной флотации и обратной засыпки может использоваться даже для подземного хранения хвостов. В Перу *Carlos Villachica, Carmen Clemente-Jul, Joyce Villachica, Leslye Villachica, Jaime Llamas* в работе «**Циркулярная экономика в управлении хвостохранилищами**» / 14 / отмечают, что в технологии динамической нейтрализации и коагуляции мелкие хвосты используются в качестве нейтрализующих и коагулирующих агентов для нейтрализации кислых стоков, в то время как оставшиеся крупные хвосты используются в качестве засыпки горных выработок. Кроме того, новая технология NEVA производит известь и чистый CO₂ из известняка и хвостов, содержащих карбонаты. CO₂ используется для производства биомассы посредством фотосинтеза в водных и наземных теплицах. Пример практического применения в высоких Андах (4400 м над уровнем моря) показывает возможность компенсировать естественный дефицит CO₂ в этом районе за счет дешевого NEVA CO₂ для повышения производительности на 100-200% и сокращения исторической бедности в регионе.

Разрывы дамб хвостохранилищ становятся все чаще и чаще в Южной Америке. Из-за того, что их можно избежать, они считаются техногенными катастрофами и часто оказывают значительное влияние на местное население и общины, а также влияют на экосистему. В работе *De Oliveira Lopes Juliana Aurora, Heller Leo* «**Пояснительные матрицы о причинах обрушения хвостохранилища в Бразилии**» / 15 / отмечено, что обрушение плотины Фундао в 2015 году в бразильском штате Минас-Жерайс считается одной из крупнейших социально-экологических катастроф в истории страны. Различные общественные акции выдвигали разные объяснения причин катастрофы. Статья критически анализирует эти дискурсы через теоретико-методологические ссылки социальной теории дискурса с целью понимания различных дискурсивных контекстов причин прорыва плотины. Анализ и понимание этих объяснительных матриц предполагает, что различные дискурсы представить различные эпистемологические подходы к причинам катастрофы, связанные с такими аспектами, как социально-исторические, политические, идеологические и асимметричные отношения власти. В заявлениях были разные акценты, они были связаны с разными эпистемологическими позициями, которые не совпадали друг с другом. Более того, определенные термины и подходы усиливают или минимизируют процессы уязвимости, с которыми сталкивается пострадавшее население. Эти дискурсы представляют согласие, разногласия и противоречия, и при систематической интеграции могут улучшить планирование управления рисками и расширить понимание, относящееся к возникновению техногенных катастроф.

2. Ресурсосберегающие технологии хвостохранилищ

Являясь твердыми отходами при объемной добыче полезных ископаемых, золотосодержащие хвосты оказывают серьезное воздействие на экологию окружающей среды хвостохранилищ. Эффект выщелачивания золота из хвостов был изучен специалистами из Китая *CAO Geng, GUO Jun-kang, REN Qian, CHEN Yi-wang*. путем сравнения ультразвукового озонирования, однократного ультразвукового воздействия и однократного озонирования / 16 /. Результаты показали, что

эффект выщелачивания золота из хвостов путем ультразвукового озонирования был более эффективным, чем однократное озонирование или однократное ультразвуковое выщелачивание. При условиях: времени выщелачивания 3 ч, температуре 80 °С, интенсивности ультразвука 0,4 Вт/см² и соотношении жидкость-твердое вещество 100/5 мл/г, скорость выщелачивания золота из хвостов достигает 44,98%. Испытание на удельную площадь поверхности и рентгеновский анализ остатков хвостов показывают, что воздействие на хвосты с помощью ультразвукового озонирования может привести к тому, что минеральные частицы раскроют жильные минералы. Исследование может дать новые идеи для утилизации хвостов в золотодобывающей промышленности.

В последние годы Китай импортировал большое количество бокситов с высоким содержанием железа из Гвинеи, в результате чего образуется большое количество красного шлама с высоким содержанием щелочи и железа, который загрязняет окружающую среду, а также приводит к расточительству металлосодержащих ресурсов. Для решения проблем обработки красного шлама с высоким содержанием железа в этом исследовании сульфоалюминатный цемент был получен из хвостов после извлечения железа из красного шлама с высоким содержанием железа. В работе *Chen Xin, Lv Guozhi, Wang Kun, Chen Peng, Chen Yang, Zhang Tingan* «**Приготовление сульфоалюминатного цемента из хвостов извлечения железа из красного шлама с высоким содержанием железа**» / 17 / исследуется ситуация спекания сульфоалюминатного цементного клинкера с учетом трех факторов: температуры спекания, времени выдержки и способа охлаждения. Кристаллизация ключевых фаз $3 \text{CaO} \cdot 3 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$ и $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ наблюдалась с помощью рентгеноструктурного анализа. Кристаллизация $3 \text{CaO} \cdot 3 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$ и $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ была наиболее достаточной при 1350 °С, времени выдержки 1,0 ч и охлаждении воздухом.

В работе *REN Xin-hao, HE Fei, CHEN Qiao, HE Jia-yi, YANG Shu-yuan* «**Характеристики загрязнения кадмием и оценка риска для почвы вокруг свинцово-цинкового хвостохранилища в округе Фэнсянь**» / 18 / в качестве объекта исследования была взята почва вокруг свинцово-цинкового хвостохранилища в округе Фэнсянь. Специалистами определено содержание кадмия (Cd) и распределение его соединений, проведена оценка риска по потенциальному экологическому риску и нечеткая комплексная оценка. Результаты показали, что pH почвы составлял 7,5 - 8,5; почва была щелочной. Содержание Cd в почве составляло 2,19 - 9,93 мг/кг, а среднее содержание Cd составляло 4,62 мг/кг. Содержание Cd во всех образцах почвы было выше, чем значения скрининга риска загрязнения почв сельскохозяйственных угодий, а коэффициент превышения кратен 3,65 - 16,5. Кроме того, содержание Cd в 56 % участков пробоотбора превысило значения риска вмешательства для загрязнения почвы сельскохозяйственных угодий. Cd в почве находился в основном в состоянии экстракции слабой кислотой и остаточном состоянии, на долю которых приходится более 50 % в большинстве образцов почвы, среди которых содержание Cd в состоянии экстракции слабой кислотой варьировалось от 12,45 % до 63,23 %. Результаты оценки потенциального экологического риска показали, что 73% образцов почвы имели риск загрязнения Cd выше IV уровня. Хотя результаты нечеткой комплексной оценки были ниже, чем оценка потенциального экологического риска, 80% образцов почвы имели риск загрязнения Cd выше III уровня. Следовательно, основываясь на результатах оценки риска, риск загрязнения Cd в почве был высоким, и следует рассмотреть эффективные стратегии восстановления для снижения риска загрязнения Cd.

Цель этого исследования - обеспечить информационную поддержку экологического менеджмента и восстановления Циньлин.

В данном обзоре представляем работу *AN Yi-fu, SUN Juan, GAO Yang, LIAN Guo-xi, YANG* «Изменение разнообразия микробного сообщества при длительном воздействии радионуклидов в сухом урановом хвостохранилище» / 19 /. Урановые хвосты были собраны с использованием технологии глубокого бурения и впоследствии были подвергнуты высокопроизводительному секвенированию на платформе Illumina Miseq для характеристики микробного сообщества в сухом урановом хвостохранилище с целью всестороннего выявления трехмерного пространственного распределения микробного сообщества в районе хранилища и корреляции между разнообразием микробного сообщества и факторами окружающей среды при длительном воздействии урана. Результаты показали значительное различие физических и химических свойств среди собранных урановых хвостов ($P < 0,05$). Кроме того, в радиоактивной среде сократилось разнообразие микробного сообщества в урановых хвостохранилищах. В микробном сообществе доминирующие бактериальные таксоны в хвостохранилищах урана на уровне филума принадлежали протеобактериям, фирмикутам, актинобактериям и бактериоидам. Род *Arthro bacter* и *Gr16* были устойчивы к радиоактивности урановых хвостов. Анализ избыточности показал, что факторы окружающей среды, включая радионуклиды U , ^{210}Po , ^{210}Pb , металлы Mn Ca и pH , SO_4^{2-} , были основными факторами, определяющими изменения микробного сообщества в урановых хвостохранилищах на разных глубинах. Результаты выявили закономерность преемственности микробного сообщества при длительном воздействии радионуклидов, что представляет научную ценность для дальнейшего изучения потенциальных штаммов биоремедиации.

Работа *Jaime Restrepo Baena Oscar, Aristizabal Gustavo, Pimentel Mateo S., Flórez Cristian A., Argumedo Carlos E.* / 20 / посвящена проблеме обращения с отходами и удалению ртути из хвостов кустарной и мелкомасштабной золотодобычи в Андском муниципалитете Антиокии (Колумбия). Обнаружено и отобрано несколько участков кустарной и мелкомасштабной золотодобычи (КМЗ) в Колумбии. На каждом участке КМЗ были собраны и проанализированы образцы хвостохранилищ. Установление взаимопонимания с заинтересованными сторонами в горнодобывающей промышленности и анализ образцов позволили сделать выводы о неэффективности использования ртути при добыче золота и о более высокой эффективности центробежных и гравиметрических методов переработки отходов добычи, полученных кустарными золотодобытчиками.

Открытые горные работы по всему миру приводят к образованию большого количества отходов, оказывающих влияние на окружающую среду. При добыче нефтеносных песков в Канаде ежегодно образуются большие объемы нефтяного кокса и хвостов, которые складываются в районах добычи и должны быть укрыты или использованы в качестве мелиоративных субстратов. *Luna Wolter Gabriela L., Dhar Amalesh, Naeth M. Anne* / 21 / проведено тепличное исследование, чтобы определить, будут ли субстраты из различных смесей сухих хвостов (СХ), песка для хвостохранилищ (ПХ) и торфяной минеральной смеси (ТМС) с добавкой кокса способствовать появлению и росту трех видов трав, обычно используемых при мелиорации земель. После 16 недель в теплице продуктивность растений менялась в зависимости от субстрата и внесения поправок. Обработка СХ/ПХ/ТМС (50:25:25) с 40% кокса имела наибольшее покрытие, биомассу, плотность и лучшее здоровье растений. Рост растений подавлялся при обработках СХ (100%) и

коксом (100%) из-за высоких концентраций углеводов, нежелательных обменных ионов и засоления, которые ограничивали удержание влаги в почве (весовое содержание воды, гидравлическая проводимость) по сравнению с обработками ТМС. *Agrostis scabra* Willd. и *Festuca saximontana*, показали плохой рост или не выжили на СХ и СХ/ПХ с коксом. *Elymus trachycaulus* (Link) Gould ex Shinners показал лучшие результаты во всех смесях СХ и лучше всех показал себя в СХ/ПХ/ТМС с 40% кокса. Результаты исследования показывают, что смешивание с ТМС может улучшить регенерационный потенциал СХ и кокса.

Zhengdong Han (Цзэндун Хан), Artem Golev (Артем Голев), Mansour Edraki (Мансур Эдраки) представили «**Обзор ресурсов вольфрама и потенциальное извлечение из отходов горнодобывающих предприятий**» (A Review of Tungsten Resources and Potential Extraction from Mine Waste) / 22 /. Вольфрам признан стратегически важным металлом вследствие его уникальных свойств, экономической значимости и ограниченных источников поставок. Он имеет широкое применение в тех случаях, когда требуются твердость, высокая плотность, высокая износостойкость и высокотемпературная устойчивость в таких секторах, как разработка месторождений полезных ископаемых, строительство, выработка энергии, электроника, авиакосмическая и оборонная промышленность. Двумя основными минералами, содержащими вольфрам, являются вольфрамит и шеелит. Вторичные минералы вольфрама встречаются редко и образуются скорее в результате гидротермальных процессов¹ или гипергенных процессов², чем вследствие атмосферного выветривания. Не было сообщений о проблемах токсичности, связанных с вольфрамом. Однако вольфрамовые хвосты и другие остатки могут вызывать некоторые риски для здоровья человека и окружающей среды. Вольфрамовый скрап является единственным вторичным источником этого металла, но переработка вольфрамовых хвостов также может стать важной в будущем. Сообщалось, что более эффективное гравитационное разделение, мокрая магнитная сепарация высокой интенсивности и флотация оказались успешными при переработке вольфрамовых хвостов, и в то же самое время бактериальное выщелачивание может помочь в удалении некоторых токсичных элементов. В 2020 г. мировое производство вольфрама из руд оценивалось в 84 тыс. т вольфрама (в пересчете 106 тыс. т WO₃), а разведанные запасы вольфрама составляют 3400 тыс. т. Кроме того, старые отвальные хвосты вольфрама могут иметь большой потенциал при проведении изыскательских работ. Неполные статистические данные указывают на то, что в этих отложениях находится около 96 тыс. т вольфрама, со средним содержанием 0,1% WO₃ (по сравнению с обычным содержанием 0,3 – 1% в первичных месторождениях). Цель статьи заключается в проведении обзора вольфрамовых минералов, первичных и вторичных ресурсов вольфрама и отходов вольфрама горнодобывающих предприятий, включая их экологические риски и потенциал переработки.

¹ Гидротермальные процессы – эндогенные геологические процессы образования и преобразования минералов и руд, происходящие в земной коре на средних и малых глубинах с участием горячих водных растворов при высоких давлениях.

² Гипергенез – совокупность процессов химических и физических преобразований минералов и горных пород в верхней части земной коры и на ее поверхности под воздействием атмосферы, гидросферы и живых организмов при низких температурах.

Вольфрам является важным стратегическим сырьем и имеет многочисленные применения в различных секторах промышленности, таких как энергетика, материалы, информационные технологии и потребительские товары. Например, вольфрам широко используется в металлообработке, горных и камнерезущих инструментах, высокотемпературных технологиях, осветительных приборах, катализаторах и красителях, исследовании нефтепродуктов, оборонной и авиакосмической промышленности [1]. Карбид вольфрама – плотное металлообразное вещество – основное целевое назначение вольфрама, широко используется при производстве автомобилей и самолетов, в строительстве, производстве электроники, при бурении нефтяных и газовых скважин и в оборонной промышленности [2]. Недавние исследования показали, что сплавы вольфрама могут стать наиболее перспективными материалами в будущих коммерческих устройствах для термоядерного синтеза для непосредственного контакта с высокотемпературной плазмой [3].

Особые свойства, широкое применение в различных секторах, отсутствие потенциальных заменителей и географически сконцентрированное производство делают вольфрам ключевым элементом и стратегическим ресурсом в мировой экономике [4]. В мае 2018 г. Министерство внутренних дел США опубликовало окончательный перечень важнейших минералов 2018 г. (83 FR 23295)³; вольфрам был включен в 35 минералов (или групп минерального сырья), признанных важнейшими [5]. Европейский союз также перечислил вольфрам в качестве одного из важнейших сырьевых материалов с 2011 г. [6]. Помимо США и ЕС, вольфрам считается важнейшим элементом в любом регионе за исключением Австралии [7].

Китай стал доминировать на мировом рынке вольфрама в 1949 г. и был основным производителем вольфрама более 70 лет. Китай производил более 40% вольфрамовых концентратов с 1949 по 1985 г. и более 66% с 1986 по 2008 г. [8]. В 2020 г. на долю Китая приходилось 82% мировой добычи вольфрамовых руд и 56% мировых запасов вольфрама [9]. Тем временем, Китай принял более жесткие меры контроля над загрязнением и нормы безопасности при производстве вольфрама и закрыл много вольфрамовых горнодобывающих предприятий с 2017 г., что привело к снижению поставок вольфрама на мировой рынок и высокой неустойчивости цен на вольфрамовые сырьевые товары [10]. Следовательно, для уравнивания мирового спроса и предложения рынок должны полагаться на разведку новых коренных месторождений в мире и использование вторичных ресурсов вольфрама [11].

В настоящее время загрязнение окружающей среды вольфрамовыми отходами стало проблемой. Например, на португальском руднике Панашкейра (Panasqueira), крупнейшем месторождении олова и вольфрама в Западной Европе, хранится большое количество вольфрамовых отвалов в хвостохранилищах. В этих хвостохранилищах образуется низкий уровень кислотности (pH ~ 3), и в отводе кислотных шахтных вод (AMD), стекающих в близлежащую реку [12], высокий уровень токсичных элементов. На руднике Ляньхуашань, пров. Гуандун, одном из крупнейших вольфрамовых рудников в Китае, было выявлено, что поверхностные воды, почва и растения вблизи хвостохранилища были сильно за-

³ Федеральный реестр, том 83, публикация 97 (18 мая 2018 г.)

грязнены тяжелыми металлами и мышьяком [13]. Дополнительные исследования в том же районе продемонстрировали, что вольфрамовые отвалы вызывают риски для здоровья проживающих поблизости жителей [14]. Следовательно, может потребоваться дополнительная очистка вольфрамовых отвалов для предотвращения потенциальных загрязнений. Между тем, в вольфрамовых отвалах могут содержаться различные ценные элементы и минералы, и их можно использовать в качестве вторичных ресурсов для извлечения металлов.

Библиография (к данному разделу)

1. Shen, L.; Li, X.; Lindberg, D.; Taskinen, P. Tungsten extractive metallurgy: A review of processes and their challenges for sustainability. *Miner. Eng.* 2019, 142, 105934. [CrossRef].
2. Shedd, K.B. 2016 Minerals Yearbook; US Geological Survey: Reston, VA, USA, 2018.
3. Liu, D.G.; Zheng, L.; Luo, L.M.; Zan, X.; Song, J.-P.; Xu, Q.; Zhu, X.Y.; Wu, Y.C. An overview of oxidation-resistant tungsten alloys for nuclear fusion. *J. Alloys Compd.* 2018, 765, 299–312. [CrossRef].
4. Calvo, G.; Valero, A.; Valero, A. How can strategic metals drive the economy? Tungsten and tin.
5. DOI, U. Final list of critical minerals 2018. *Fed. Regist.*, 2018, 83, 2395-2396.
6. Martins, F.; Castro, H. Significance ranking method applied to some EU critical raw materials in a circular economy—priorities for achieving sustainability. *Procedia CIRP* 2019, 84, 1059–1062. [CrossRef].
7. Hayes, S.M.; McCullough, E.A. Critical minerals: A review of elemental trends in comprehensive criticality studies. *Resour. Policy* 2018, 59, 192–199. [CrossRef].
8. Brookes, K. What's new in Chinese tungsten. *Met. Powder Rep.* 2011, 66, 22–30. [CrossRef].
9. U.S.G.S. Mineral. Commodity Summaries 2021; USGS: Reston, VA, USA, 2021; pp. 178–179.
10. Liu, H.; Liu, H.; Nie, C.; Zhang, J.; Steenari, B.-M.; Ekberg, C. Comprehensive treatments.
11. Dvořáček, J.; Sousedíková, R.; Vrátný, T.; Jureková, Z. Global Tungsten Demand and Supply Forecast. *Arch. Min. Sci.* 2017, 62, 3–12. [CrossRef].
12. Candeias, C.; Ávila, P.F.; Ferreira da Silva, E.; Ferreira, A.; Salgueiro, A.R.; Teixeira, J.P. Acid mine drainage from the Panasqueira mine and its influence on Zêzere river (Central Portugal). *J. Afr. Earth Sci.* 2014, 99, 705–712. [CrossRef].
13. Lin, W.; Chen, C.; Xu, S. Heavy Metal Contamination and Environmental Concerns on Orchard at Abandoned Tungsten Mine, Southern China. *Appl. Mech. Mater.* 2013, 295–298, 1609–1614. [CrossRef].
14. Liu, C.-P.; Luo, C.-L.; Gao, Y.; Li, F.-B.; Lin, L.-W.; Wu, C.-A.; Li, X.-D. Arsenic contamination and potential health risk implications at an abandoned tungsten mine, southern China. *Environ. Pollut.* 2010, 158, 820–826. [CrossRef].

Alexa M. Schmitz, Brook Pian, Sean Medin, Matthew C. Reid, Mingming Wu, Esteban Gazel, Buz Barstow в работе под названием «С помощью коллекции генетических нокаут⁴ уксуснокислой бактерии *Gluconobacter oxydans* улучшается извлечение редкоземельных элементов (РЗЭ)» (*Gluconobacter oxydans*⁵ Knockout Collection Finds Improved Rare Earth Element Extraction) / 23 / резюмируют следующее.

Редкоземельные элементы (РЗЭ) являются важными компонентами нашего технологического общества, и они необходимы для технологий возобновляемой энергии. Традиционные термохимические процессы для извлечения РЗЭ из минеральных руд или подвергаемых рециклингу материалов являются дорогостоящими и вредными для окружающей среды [1], и, поэтому, необходимо исследовать более устойчивые методы извлечения. Биовыщелачивание⁶ предлагает многообещающую альтернативу традиционным методам извлечения РЗЭ [2 – 4], и оно уже используется для извлечения 5% добываемого в мире золота и покрытия ~ 15% потребности в поставках меди [5, 6]. Однако эффективность биовыщелачивания значительно отстает от эффективности термохимических процессов [2, 7 – 9]. Несмотря на это, насколько нам известно, стратегии генной инженерии еще не использовались для улучшения показателей биовыщелачивания РЗЭ, и малоизвестно о методах генетики, которые предоставят такую возможность. Мы собрали полногеномную коллекцию генетических нокаут⁴ уксуснокислой бактерии *Gluconobacter oxydans* B58, одного из многообещающих организмов для выщелачивания РЗЭ [10], и использовали ее для всестороннего определения характеристик геномики биовыщелачивания РЗЭ. В общей сложности, мы нашли 304 гена, которые существенно изменяют производство кислотного биовыщелачивающего раствора *G. Oxydans*, в том числе 165 генов, которые выдерживают статистическое сравнение с геном дикого типа (наиболее широко представленным в данной популяции). Две группы генов с наибольшей силой воздействия, участвующие в биовыщелачивании РЗЭ, оказывают противоположное воздействие на производство кислого раствора и биовыщелачивание РЗЭ. Разрушение генов, отвечающих за синтез кофермента пиррохлоро-хинолин-хинона⁷ (PQQ), и глюкоза дегидрогеназа (сопрягающий фермент), связанная с мембраной PQQ, почти исключают биовыщелачивание. Напротив, нарушение работы системы доставки фосфатов ускоряет производство кислого раствора и улучшает биовыщелачивание. Мы идентифицировали 6 измененных в результате мутации организмов, отличающихся от исходной формы (дикого типа), которые повы-

⁴ Нокаут гена – метод молекулярной генетики, при котором из организма удаляют определенные гены, и происходит мутация генов.

⁵ Грамотрицательная бактерия из семейства уксуснокислых бактерий, характеризующаяся неполным окислением широкого диапазона углеводов и спиртов. Это неполное окисление ведет к образованию множества продуктов с хорошим количественным выходом, что делает бактерию важным объектом для промышленного использования.

⁶ Биовыщелачивание, или бактериальное выщелачивание – процесс перевода металлов в раствор, основанный на разложении сульфидов специальными хемоавтотрофными бактериями.

⁷ Гетероциклическое ароматическое соединение, которое может функционировать в качестве переносчика электронов в биологических системах.

шают биовыщелачивание, по крайней мере, на 11%. Самое главное, разрушение *psiC*, части гена, кодирующего белок, переносчик фосфатов, *psSCAB*, повышает биовыщелачивание на 18%. При совместном рассмотрении эти результаты дают всеобъемлющую дорожную карту для конструирования множества сайтов (участков молекулы ДНК, белка) в геноме *G. Oxidans* с целью дальнейшего повышения эффективности биовыщелачивания.

Библиография (к данному разделу)

- [1] Zepf, V. in *Rare Earth Industry* Ch. I, 3-17 (2015) Google Scholar
- [2] Brisson, V. L., Zhuang, W.-Q. & Alvarez-Cohen, L. Bioleaching of rare earth elements from monazite sand. *Biotechnology and Bioengineering* **113**, 339–348, doi:10.1002/bit.25823 (2016).
- [3] Cockell, C. S. et al. Space station biomining experiment demonstrates rare earth element extraction in orb
- [4] Rasoulnia, P., Barthen, R. & Lakaniemi, A.-M. A critical review of bioleaching of rare earth elements: The mechanisms and effect of process parameters. *Crit Rev Env Sci Tec* **51**, 1–50, doi:10.1080/10643389.2020.1727718 (2020).
- CrossRefGoogle Scholar
- [5] Johnson, D. B. Biomining—biotechnologies for extracting and recovering metals from ores and waste materials. *Current Opinion in Biotechnology* **30**, 24–31, doi:10.1016/j.copbio.2014.04.008 (2014).
- [6] Brierley, C. L. in *Innovative Process Development in Metallurgical Industry, Concept to Commission* и
- Google Scholar
- [7] Merritt, R. R. High temperature methods for processing monazite: I. *Reaction with calcium chloride and calcium carbonate*. *J Less Common Metals* **166**, 197–210, doi:10.1016/0022-5088(90)90001-z (1990).
- CrossRefGoogle Scholar
- [8] Thompson, V. S. et al. Techno-economic and Life Cycle Analysis for Bioleaching Rare-Earth Elements from Waste Materials. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* **6**, 1602–1609, doi:10.1021/acssuschemeng.7b02771 (2018).
- CrossRefGoogle Scholar
- [9] Jin, H. et al. Sustainable Bioleaching of Rare Earth Elements from Industrial Waste Materials Using Agricultural Wastes. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* **7**, 15311–15319, doi:10.1021/acssuschemeng.9b02584 (2019).
- CrossRefGoogle Scholar
- [10] Reed, D. W., Fujita, Y., Daubaras, D. L., Jiao, Y. & Thompson, V. S. Bioleaching of rare earth elements from waste phosphors and cracking catalysts. *Hydrometallurgy* **166**, 34–40, doi:10.1016/j.hydromet.2016.08.006 (2016).

3. Борьба с чрезвычайными экологическими ситуациями

Экологические проблемы человечества возрастают количественно и по степени тяжести со времени Стокгольмской конференции ООН по проблемам окружающей среды 1972 г., и в настоящее время они стали чрезвычайным явлением планетарного масштаба. Несмотря на то, что для преодоления последствий чрезвычайных ситуаций требуются большие усилия, в отчете **Программа ООН по окружающей среде** освещается путь к устойчивому будущему с новыми возможностями и шансами на успех / 23 /.

Пять ведущих тем

- *Изменения в окружающей среде подрывают с трудом завоеванные достижения в области развития, приводя к экономическим издержкам в миллионы преждевременных летальных исходов. Они препятствуют достижению прогресса на пути к искоренению бедности и голода, сокращению неравенства и содействию устойчивому экономическому росту, возможностям работы для всех и мирному и открытому обществу.*

- *Благополучие нынешней молодежи и будущих поколений зависит от быстрого и уверенного отхода от текущих тенденций ухудшения состояния окружающей среды. Важнейшим является нынешнее десятилетие. Общественная система должна снизить выбросы диоксида углерода на 45% к 2030 г., по сравнению с уровнями 2010 г. и достичь нулевых нетто-выбросов к 2050 г. до ограничения потепления не более 1,5°C, как намечено Парижским соглашением, и в то же самое время сохранить и восстановить биоразнообразие и минимизировать загрязнения и образование отходов.*

- *Борьба с чрезвычайными экологическими ситуациями на Земле и обеспечение благосостояния людей должны проводиться вместе для достижения устойчивости. Формулирование целей, запланированных результатов, обязательств и механизмов в рамках ключевых экологических конвенций и их выполнение должны быть согласованы, для того, чтобы они были взаимно усиливающими и эффективными.*

- *Экономическая, финансовая и производительная системы могут и должны быть трансформированы для направления и ускорения пути к устойчивости. Общественная система должна включать природный капитал⁸ в принятие решений, устранение экологически вредных субсидий и инвестирования в переход к устойчивому будущему.*

- *Каждый имеет собственную роль в обеспечении того, что человечески знания, изобретательность, технологии и сотрудничество переориентируются с трансформации природы к трансформации взаимоотношений человечества с природой. Многополярное управление является ключом к расширению возможностей людей само выражаться и действовать экологически ответственно без излишних трудностей и самопожертвования.*

⁸Природный капитал – экономическая категория, обозначающая минеральные, растительные и животные составляющие биосферы.

3.1. Изменения, происходящие в природе, ставят под угрозу благополучие человека

Нынешний характер развития снижает конечный потенциал Земли для поддержания благосостояния людей

● Благосостояние людей в значительной степени зависит от природных систем Земли. Однако экономические, технологические и социальные достижения также приводят к снижению потенциала Земли для поддержания благосостояния нынешнего и будущих поколений. Процветание людей зиждется на широком использовании ограниченных и остающихся ресурсов планеты, а также на защите и восстановлении ее жизнеобеспечивающих процессов и способности поглощать отходы.

● За последние 50 лет отмечен почти пятикратный рост мировой экономики вследствие главным образом утроения добычи природных ресурсов и энергии, что способствовало росту производства и потребления. Население планеты удвоилось и составляет 7,8 млрд. чел., и, хотя средний уровень благосостояния также удвоился, около 1,3 млрд. чел. остаются бедными и 700 млн. чел. – бедными.

● Возрастающее неравенство и ресурсоемкая модель развития становятся движущими силами ухудшения состояния окружающей среды в связи с изменением климата, потерей биоразнообразия и другими формами загрязнения и деградации природных ресурсов.

● Социальная, экономическая и финансовые системы не учитывают существенные выгоды, которые общество получает от природы, и не предусматривают стимулы для разумного управления природными ресурсами и сохранения ценности природы. Большая часть существенных выгод природы в настоящее время не имеет финансовой рыночной стоимости, несмотря на то, что они лежат в основе процветания нынешнего и будущего поколений.

3.2. Общественная система не в состоянии выполнить большую часть обязательств по ограничению экологического ущерба

● Общественная система не находится на пути выполнения Парижских соглашений по ограничению глобального потепления ниже 2°C по сравнению с доиндустриальными уровнями и приложению усилий по дальнейшему ограничению роста температуры до 1,5°C. При нынешних уровнях экономического развития рост глобальной температуры достигнет 1,5°C примерно к 2040 г., и, возможно, раньше. В целом, текущая национальная политика по сокращению выбросов парниковых газов ставит мир на путь глобального потепления, по крайней мере, 3°C к 2100 г. Вызванное человеком нынешнее глобальное потепление более чем на 1°C уже привело к смещению климатических зон, изменению характера атмосферных осадков, таянию ледникового покрова и ледников, ускорению повышения уровня моря и более частым и более серьезным экстремальным явлениям, угрожающим людям и планете.

● Ни одна из согласованных глобальных целей по защите жизни на Земле и прекращению деградации земли и океанов не была полностью выполнена. Три четверти площади Земли и две трети океанов в настоящее время находятся под воздействием людей. 1 млн. из 8 млн. оцененных видов животных и растений находится под угрозой исчезновения, а многие экосистемные услуги, важные для благосостояния человека, ослаблены.

- Общественная система находится на пути к восстановлению защитного стратосферного озонового слоя. Однако предстоит еще многое сделать для уменьшения загрязнения воздуха водных объектов, безопасного обращения с химическими веществами, а также сокращения количества и безопасного обращения с отходами.

3.3. Достижение Целей устойчивого развития находится под угрозой из-за воздействия нарастающих и взаимно усиливающих друг друга экологических рисков

- Десятилетия нарастающих усилий не остановили ухудшения состояния окружающей среды в результате экспансионистской модели развития, поскольку часто преобладают собственные и кратковременные интересы.

- Только системные преобразования позволят достичь благосостояния для всех в рамках потенциала Земли поддерживать жизнь, предоставлять ресурсы и абсорбировать отходы. Для этих преобразований потребуются фундаментальные изменения в технологической, экономической и социальной организации общества, включая мировоззрение, нормы, ценности и управление.

- Серьезные изменения в инвестициях и нормативных положениях являются ключом к справедливому и информированному преобразованию, которые смогут преодолеть инерцию и противостояние личных интересов. Регуляторные процессы должны включать прозрачное принятие решений и надлежащее управление с участием всех заинтересованных сторон. Противодействие изменениям можно ослабить с помощью перенаправления субсидий на альтернативные источники средств к существованию и новые бизнес-модели.

- Кризис с COVID-19 стал толчком к ускорению преобразующих изменений. Пандемия и последующие экономические потрясения продемонстрировали опасности деградации экосистем, а также необходимость в международном сотрудничестве и большей экономической и социальной устойчивости. Кризис повлек за собой серьезные экономические издержки и потребовал значительных инвестиций. Обеспечение того, чтобы эти инвестиции оказали поддержку преобразующим изменениям, является ключом для достижения устойчивости.

3.4. Чрезвычайные экологические ситуации на Земле должны преодолеваться вместе с достижением устойчивости

- С учетом взаимосвязанной природы изменения климата, потеря биоразнообразия, деградации земли, загрязнения воздуха и водных объектов, важно, чтобы эти проблемы решались вместе. Варианты реагирования, которые направлены на множество проблем, могут смягчить комплексную уязвимость, минимизировать компромиссы и добиться максимальной синергии.

- Для ограничения глобального потепления намного ниже 2°C по сравнению с доиндустриальными уровнями и интенсификации усилий по дальнейшему ограничению роста температуры на $1,5^{\circ}\text{C}$ требуется быстрое выполнение и значительное усиление обязательств в рамках Парижского соглашения. На глобальном уровне нетто-выбросы диоксида углерода необходимо снизить на 45% к 2030 г., по сравнению с уровнями 2010 г. и достичь нулевых нетто-выбросов к 2050 г. и вывести мир на путь роста на $1,5^{\circ}\text{C}$ с вероятностью 50%, в то время как необходимы более масштабные цели для большей уверенности. Для выхода на путь роста на 2°C потребуется снижение глобальных выбросов на 25% к 2030 г., по срав-

нению с уровнями 2010 г. и достижение нулевых нетто-выбросов к 2070 г. Оба пути связаны с быстрыми преобразованиями в таких областях как энергетические системы, землепользование, сельское хозяйство, защита лесов, градостроение, инфраструктура и жизненный уклад. Смягчение последствий изменения климата является жизненно важным, неотложным и связано со снижением издержек: чем ниже степень потепления, тем легче и дешевле будет адаптация.

- Потери биоразнообразия можно предотвратить и в корне изменить только с помощью предоставления места, предназначенного для природы, и в то же самое время обращаясь к таким движущим силам как изменение землепользования и видов использования моря, чрезмерное использование природных ресурсов, изменение климата и инвазивные чужеродные виды. Предотвращение исчезновения видов и поддержание жизнеобеспечивающего вклада природы, сохранения и восстановления биоразнообразия должны стать неотъемлемой частью для многих видов использования сухопутной, пресноводной и морской экосистем, в сочетании с расширенной и лучше управляемой глобальной сетью взаимосвязанных охраняемых территорий, предназначенных для устойчивости к изменению климата.

- Негативные воздействия химических веществ и отходов на окружающую среду и здоровье человека могут быть существенно снижены путем выполнения существующих международных конвенциях о химических веществах. Для достижения дальнейшего прогресса потребуются упрочение научно-политического взаимодействия как основы для проведения политики, основанной на фактах и усовершенствованные системы управления, вместе с нормативно-правовой реформой.

Библиография

1. *Кранивин В.Ф., Потапов И.И., Солдамов В.Ю. Природные катастрофы.* – Винница: ТОВ «Твори», 2019. – 380 с. (Табл. 53, Ил. 87, Библ. назв. 306). - ISBN 978-617-7710-84-4 .

2. *Lumbroso Darren, Collell Marta Roca, Petkovsek Gregor, Davison Mark, Liu Ye, Goff Craig, Wetton Mark.* «**DAMSAT: глаз в небе для мониторинга дамб хвостохранилищ**» (An Eye in the Sky for Monitoring Tailings Dams// Mine Water and the Environment.- 2021.- Том 40, №1.- С. 113.– 127.

3. *Gildeh Hossein Kheirkhah, Halliday Alexandra, Arenas Alfredo, Zhang Hua.* «**Анализ прорыва хвостохранилища: обзор методов, практики и неопределенностей**» (Tailings Dam Breach Analysis: A Review of Methods, Practices, and Uncertainties // Mine Water and the Environment.- 2021.- Том 40, №1.- С. 128 – 150.

4. *Jair Carlos Koppe* «**Уроки, извлеченные из двух крупных аварий на хвостохранилищах в Бразилии**» (Lessons Learned from the Two Major Tailings Dam Accidents in Brazil // Mine Water and the Environment – 2021.- Том 40, № 1.- С. 166 – 173.

5. *Fortuna John, Waterhouse John, Chapman Peter, Gowan Mike.* «**Применение практической гидрогеологии при проектировании хвостохранилища и управлении им**» (Applying Practical Hydrogeology to Tailings Storage Facility Design and Management // Mine Water and the Environment.- 2021.- Том 40.-№ 1- С. 50 - 62.

6. *D-Iaz-Puga M. A., Pulido-Bosch A., Vallejos A., Sola F., Daniele L., Sim-Ion M., Garc~l~ia I.* **Воздействие шахтных фильтратов на карбонатный водоносный горизонт (юго-восток Испании)**Impact of Mine Leachates on a Carbonate Aquifer (SE Spain. // Mine Water and the Environment.- 2021.-Том 40, № 3.- С. 225 - 234.

7. *Ol~Iias Manuel, C~Janovas Carlos R., Dolores Basallote M.* **Изменение качества поверхностных и подземных вод в реках Агрио и Гуадиамар после разлива на шахте Азнальколлар (юго-запад Испании): извлеченные уроки** (Surface and Groundwater Quality Evolution in the Agrio and Guadiamar Rivers After the Aznalc~Iollar Mine Spill (SW Spain): Lessons Learned // *Mine Water and the Environment.*- 2021,- Том 40, № 3- С. 235 – 249.

8. *Donald East, Ruben Fernandez.* **«Управление водопользованием для минимизации рисков при проектировании, строительстве и эксплуатации хвостохранилища»** (Managing Water to Minimize Risk in Tailings Storage Facility Design, Construction and Operation) // *Mine Water and the Environment.*- 2021.- Том 40, № 1- С. 36 - 41.

9. *Galera Jos~le Miguel, Fernando de la Fuente, Garc~Iia Juan, Calleja Manuel, Pozo Vanesa.* **«Проектирование и строительство дамбы хвостохранилища над древним хвостохранилищем на шахте Ла-Паррилья»** (Design and Construction of a Tailings Dam over an Ancient Tailings Facility at La Parrilla Mine) // *Mine Water and the Environment.*- 2021.- Том 40, № 1. - С. 63 - 73.

10. *Carrasco Ivan.* **«Изменение мышления: управление хвостохранилищами на руднике Лас-Крусес (Севилья, Испания)»** (Shifting the Mind Set: Tailings Management at the Las Cruces Mine (Seville, Spain) // *Mine Water and the Environment.*- 2021.- Том 40, №1.- С. 16 - 22.

11. *Joaqu~lin Mart~li, Francisco Riera, Francisco Mart~inez.* **«Интерпретация обрушения хвостохранилища Асналькольяр (Испания)»** (Interpretation of the Failure of the Aznalc~Iollar (Spain) Tailings Dam) // *Mine Water and the Environment.* - 2021, Том 40, № 1. - С. 189 - 208.

12. *Yao Chi, Wu Ligong, Yang Jianhua, Xiao Lixing, Liu Xiaofeng, Jiang Qinghui, Zhou Chuangbing.***«Влияние размера частиц хвостов на прорывы ограждающей дамбы хвостохранилища»**(Influences of Tailings Particle Size on Overtopping Tailings Dam Failures) // *Mine Water and the Environment.*- 2021,Том 40, № 1.- С. 174 - 188.

13. *Kym Lesley Morton.* **«Использование точного контроля порового давления для снижения риска на хвостохранилищах»** (The Use of Accurate Pore Pressure Monitoring for Risk Reduction in Tailings Dams) // *Mine Water and the Environment.*- 2021.- Том 40, № 1- С. 42 - 49.

14. *Carlos Villachica, Carmen Clemente-Jul, Joyce Villachica, Leslye Villachica, Jaime Llamosas.* **«Циркулярная экономика в управлении хвостохранилищами»** (Circular Economy in Tailings Management) // *Mine Water and the Environment.*- 2021.- Том 40, №1. - С. 23 - 35.

15. *De Oliveira Lopes Juliana Aurora, Heller Leo.* Пояснительные матрицы о причинах обрушения хвостохранилища в Бразилии (Explanatory matrices on the causes of a tailing dam collapse in Brazil: The articulation of epistemes) // *Risk Anal. /электронный ресурс/.*- 2020.- 40, №12. – P. 2524-2538.

16. *CAO Geng, GUO Jun-kang, REN Qian, CHEN Yi-wang.* **«Исследование выщелачивания золота из хвостов методом ультразвукового озонирования»** (Study on gold leaching from tailings by ultrasonic-coupled ozonation) // *Shaanxi keji daxue xuebao = J. Shaanxi Univ. Sci. and Technol.* – 2021. – 39, № 1. – P.26 – 31.

17. *Chen Xin, Lv Guozhi, Wang Kun, Chen Peng, Chen Yang, Zhang Tingan .* **«Приготовление сульфоалюминатного цемента из хвостов извлечения железа из красного шлама с высоким содержанием железа»** (Preparation of sulphoaluminate cement from tailings of iron extraction from high iron red mud) // *Cailiao yu yejin xuebao = J. Mater. and Met.* – 2020. - 19, № 4. – p.234 – 239.

18. *REN Xin-hao, HE Fei, CHEN Qiao, HE Jia-yi, YANG Shu-yuan* «Характеристики загрязнения кадмием и оценка риска для почвы вокруг свинцово-цинкового хвостохранилища в округе Фэнсянь» (Cadmium pollution characteristics and risk assessment of soil around a lead-zinc tailings pond in Fengxian County) // *Shaanxi keji daxue xuebao* = *J. Shaanxi Univ. Sci. and Technol.* – 2020.- 38, № 6. – P. 24 -29.

19. *AN Yi-fu, SUN Juan, GAO Yang, LIAN Guo-xi, YANG.* «Изменение разнообразия микробного сообщества при длительном воздействии радионуклидов в сухом урановом хвостохранилище» (Bing Variation of microbial community diversity with long-term exposure of radionuclides in dry uranium tailings pond // *Zhongguo huanjing kexue* = *CHINA ENVIRON. SCI.* - 2021, Vol. 41 - Issue (2).- P. 923-929.

20. *Jaime Restrepo Baena Oscar, Aristiz-Iabal Gustavo, Pimentel Mateo S., Fl-Jorez Cristian A., Argumedo Carlos E.* «Обращение с отходами и удаление ртути из хвостов кустарной и мелкомасштабной золотодобычи в Андском муниципалитете Антиокии, Колумбия» (Waste Management and the Elimination of Mercury in Tailings from Artisanal and Small-Scale Gold Mining in the Andes Municipality of Antioquia, Colombia // *Mine Water and the Environment*- 2021.- Том 40, № 1- P. 250 - 256.

21. *Luna Wolter Gabriela L., Dhar Amalesh, Naeth M. Anne* «Реакция трех местных видов трав на субстрат для рекультивации сухих хвостов с добавлением нефтяного кокса» (Response of three native grass species on dry tailings reclamation substrate amended with petroleum coke) // *Journal of Environmental Quality*.- 2021.- Том 50, № 2.- P. 384 - 395.

22. *Zhengdong Han (Цзэндун Хан), Artem Golev (Артем Голев), Mansour Edraki (Мансур Эдраки)*«Обзор ресурсов вольфрама и потенциальное извлечение из отходов горнодобывающих предприятий» (A Review of Tungsten Resources and Potential Extraction from Mine Waste) .MDPI⁹ *Minerals: Review*¹⁰Minerals 2021, 11, 701, <https://doi.org/10.3390/min11070701>.

23. *Alexa M. Schmitz, Brook Pian, Sean Medin, Matthew C. Reid, Mingming Wu, Esteban Gazel, Buz Barstow* «С помощью коллекции генетических нокаутов¹¹ уксуснокислой бактерии *Gluconobacter oxdans* улучшается извлечение редкоземельных элементов (РЗЭ) (*Gluconobacter oxdans*)¹² Knockout Collection Finds Improved Rare Earth Element Extraction) Cold Spring Harbor Laboratory¹³ : [goi:https://doi.org/10.1101/2021.07.11.45/920](https://doi.org/10.1101/2021.07.11.45/920).

⁹ MDPI, или Multidisciplinary Digital Publishing Institute – издатель научных журналов с открытым доступом, основанный в 1996 г., со штаб-квартирой в Базеле, включающий свыше 200 журналов открытого воздуха. Крупнейшее в мире издательство с открытым доступом.

¹⁰ Обзор, дата публикации 29 июня 2021 г.

¹¹ Нокаут гена – метод молекулярной генетики, при котором из организма удаляют определенные гены, и происходит мутация генов.

¹² Грамотрицательная бактерия из семейства уксуснокислых бактерий, характеризующаяся неполным окислением широкого диапазона углеводов и спиртов. Это неполное окисление ведет к образованию множества продуктов с хорошим количественным выходом, что делает бактерию важным объектом для промышленного использования.

¹³ Лаборатория в Колд Спринг Харбор (пригород Нью-Йорка на острове Лонг-Айленд) – частная некоммерческая организация, занимающаяся исследованиями в области онкологии, нейробиологии, генетики растений, геномики и биоинформатики, основанная в 1890 г.

24. **Примирение с природой: ЮНЕП (Программа ООН по окружающей среде).** *Научная программа по решению чрезвычайных ситуаций, связанных с изменением климата, потерей биоразнообразия и загрязнениями*¹⁴ (**Making Peace with Nature UN environment program - A scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity and pollution emergencies**), 2021 United Nations Environment Programme ISBN: 978-92-807-2837-7, Job No: DEW/2335/NA.

¹⁴ Руководителями программы являются Ивар Андреас Басте (Ivar Andreas Baste), советник Директората по управлению природными ресурсами Норвегии, член Бюро Международной научно-политической платформы по биоразнообразию и экосистемным услугам (IPBES) и Роберт Уотсон (Robert Watson), британско-американский ученый-эколог, специалист в области наук об атмосфере и глобального потепления, профессор, доктор философии, член Лондонского королевского общества.