

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>  
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2023, Том 10, № 1 / 2023, Vol. 10, Iss. 1 <https://resources.today/issue-1-2023.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/08NZOR123.pdf>

DOI: 10.15862/08NZOR123 (<https://doi.org/10.15862/08NZOR123>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Михайленко, А. В. Экологическая проблематика при социально-технологических трансформациях: концептуализация на примере использования лития / А. В. Михайленко, Д. А. Рубан // Отходы и ресурсы. — 2023. — Т. 10. — № 1. — URL: <https://resources.today/PDF/08NZOR123.pdf> DOI: 10.15862/08NZOR123

**For citation:**

Mikhailenko A.V., Ruban D.A. Ecological problematic under socio-technological transformations: conceptualization by example of lithium use. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2023; 10(1): 08NZOR123. Available at: <https://resources.today/PDF/08NZOR123.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/08NZOR123

*Исследование выполнено в рамках Программы стратегического академического лидерства ЮФУ Приоритет-2030; проект № СП-12-22-5*

*Авторы благодарят Д.Ю. Воропаеву (ИОНХ РАН) за ценные рекомендации*

**Михайленко Анна Владимировна**

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, Россия

Институт наук о Земле

Доцент

Кандидат географических наук

E-mail: [avmihaylenko@sfedu.ru](mailto:avmihaylenko@sfedu.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1156-770X>

РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=712702](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=712702)

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=55971159100>

**Рубан Дмитрий Александрович**

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, Россия

Доцент Высшей школы бизнеса

Кандидат геолого-минералогических наук, Philosophiae Doctor (Университет Претории, ЮАР), доцент

E-mail: [ruban-d@mail.ru](mailto:ruban-d@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2847-645X>

РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=114734](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=114734)

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=8520926600>

## Экологическая проблематика при социально-технологических трансформациях: концептуализация на примере использования лития

**Аннотация.** Социально-технологические трансформации сопрягаются с экологической проблематикой. В частности, рост использования лития (в том числе в целях экологизации) способствует усилению его значения в качестве загрязняющего окружающую среду металла. Данная работа ставит целью концептуализацию соответствующей проблематики. Методически она основана на систематизации литературных данных и их мета-анализе в ходе построения концептуальной модели. Результаты указывают, что экологические проблемы связаны как с добычей лития (особенно из сларов), так и с утилизацией использующих этот металл батарей; при этом загрязняющие вещества могут быть довольно разнообразны. Сложность создает недостаточная экологическая изученность лития. Обращается внимание на диверсификацию загрязняющих веществ и расширение географии загрязнения. Усложнение технологий,

связанных с циклом обращения с литием, само по себе является вызовом, т. к. повышает риск технологических сбоев. Очевидно, что исследовательские интересы и их смещение также имеют прямое отношение к рассматриваемой проблематике. Полученные результаты могут быть интерпретированы таким образом, что развитие науки не «успевает» за экологической проблематикой в связи с социально-технологической трансформацией. Эколого-технологический форсайт проявляет очевидные недостатки. Однако подобного рода вопросы возникали и при других, ранее имевших место трансформациях; при этом остается непонятным, насколько успешно они были решены, а соответствующие экологические проблемы — минимизированы. В целом, предпринятая концептуализация должна получить философскую трактовку. Именно эпистемологические исследования могут способствовать формулировке практических рекомендаций (в том числе для современного исследовательского сообщества).

**Ключевые слова:** аккумуляторы; загрязнение; концептуальная модель; общественная трансформация; окружающая среда; рециклинг; эколого-технологический форсайт

## Введение

Успешное решение проблем, связанных с загрязнением окружающей среды, помимо использования сугубо экологических подходов также нуждается в концептуализации, обеспечивающей их всеобъемлющую, философскую трактовку. Это тем более важно с учетом того, что корректное понимание подобного рода проблем, как фундаментальных, глобальных, так и частных, локальных, неразрывно связано с общими представлениями о роли человека в планетарном развитии, однонаправленности, цикличности или хаотичности технологического прогресса, механизмах научного познания и т. п. Неслучайно современная философия как сама «подпитывается» экологическими идеями, так и формирует разнообразный инструментарий для их более глубокого понимания (и именно по этой причине экологическую проблематику вообще целесообразно увязывать с философскими построениями). Соответствующие взгляды представлены в работах Э.В. Гирусова [1], С.В. Смирнова и А.Д. Курманалиевой [2], О.М. Толкачева и Е.Л. Рябовой [3], а из зарубежных исследователей — Д. Де Карвалью Кабрала [4], Д. Горальник и М. Нельсона [5], Т. Левассёра [6], С. Фогеля [7]. В том же ключе стоит понимать не утратившее актуальности учение о ноосфере [8], сформулированную около 50 лет назад гипотезу Геи [9; 10] и развиваемые в настоящее время представления об антропоцене [11; 12].

Особый интерес вызывает экологическая проблематика, связанная с крупными социально-технологическими трансформациями. Речь идет о массовой разработке и внедрении таких инноваций, которые принципиально меняют характер общественного развития. Наиболее очевидный пример — лавинообразное распространение информационных технологий на рубеже XX/XXI веков, приведшее в итоге к утверждению глобально-цифровой модели развития. Подобные трансформации могут иметь и более частный характер, будучи связанными с отдельными технологическими «прорывами» и/или отдельными аспектами общественной жизни. Более того, частные преобразования нередко оказываются проявлениями более масштабных изменений. В качестве характерного примера, рассматриваемого в настоящей работе, можно привести бурный рост использования литийсодержащих материалов и развития технологий их получения и использования. Соответствующие явления могут быть в совокупности обозначены как литиевая трансформация. Она как является ответом на все возрастающие запросы информатизации и повышения энергоэффективности, так и сама стимулирует соответствующие механизмы.

Литий и содержащие его материалы имеют важнейшее значение для современного общества. Прежде всего, речь идет о производстве аккумуляторов для информационно-коммуникационных устройств, электромобилей и электростанций на основе возобновляемых источников энергии [13–15]. Это производство также позволяет обеспечить рециклинг экологически небезопасных отходов [16; 17]. Технологии создания литий-ионных и литиевых батарей интенсивно развиваются, при этом вторые видятся в качестве более перспективных [15]. Стоит отметить быстрый рост технофильности лития. К началу 2020-х годов в мире ежегодно производилось более 80 тыс. т данного элемента [18], а прогнозные модели указывают на огромный рост спроса, который может составить десятки раз к 2100 г. [18–20]. В целом, литиевые аккумуляторы служат целям как собственно технологического прогресса, так и глобального устойчивого развития, т. к. способствуют энергоэффективности и снижению поступления углекислого газа в атмосферу. Однако наличие положительных экологических следствий вовсе не означает отсутствия отрицательных (подробнее они рассматриваются ниже). Техногенная среда не является изолированной от окружающей среды в целом, и для последней стоит говорить об увеличении концентрации лития вследствие активизации его использования современным обществом. Иными словами, критичность данного металла для происходящей социально-технологической трансформации расширяет возможности проявления его негативных экологических эффектов.

Основной целью настоящей работы является разработка концептуальной основы для максимально полного понимания экологической проблематики, связанной с литиевой трансформацией. Она может также стать полезной для философского истолкования принципиального влияния социально-экономических трансформаций на состояние окружающей природной среды (подобные общетеоретические построения приобретают важное практическое значение). Такое истолкование, в свою очередь, требуется как для выработки адекватных и при этом целостных ответов на вновь возникающие экологические вызовы, так и для улучшения качества реализации прогностических функций современной науки.

### Материалы и методы

В основу настоящей работы положен системный обзор ранее опубликованной информации, которая в скомпилированном виде и составляет материал исследования. Однако он дополнен аналитическими процедурами, нацеленными на концептуализацию рассматриваемой экологической проблематики (рис. 1). Представленная ниже информация является скорее результатом мета-анализа, чем простой компиляцией уже известных данных, что предопределяет ее оригинальность.



*Рисунок 1. Последовательность реализации настоящего исследования (составлено авторами)*

Изначально с помощью библиографических баз данных (прежде всего, «Scopus»), являющихся эффективным инструментом работы с литературными данными [21–23], была собрана ранее опубликованная информация относительно литиевого загрязнения в связи с увеличением использования данного металла в условиях происходящей социально-технологической трансформации. Далее те же базы позволили скомпилировать литературные сведения о цикле обращения (включая и утилизацию) с литием с некоторым акцентом на производстве литиевых батарей (здесь и далее это понятие используется в широком смысле, т. е. включает и литий-ионные батареи). Они вполне могут интерпретироваться в экологическом ключе.

Отмеченные выше сведения далее анализируются качественно, путем прослеживания логических связей между информационными блоками и установления очевидных «пробелов» таким образом, чтобы обозначить основные аспекты экологической проблематики, связанной с растущим использованием лития. Информация об этих аспектах и составляет ожидаемые результаты настоящей работы. Необходимо отметить, что выявляемые аспекты могут быть как напрямую зафиксированы в ранее опубликованной литературе, так и предполагаться на основании собранных сведений.

## Результаты

Литий вполне может и должен быть включен в состав загрязняющих металлов. Он обладает достаточно слабой миграционной способностью в ландшафтах. При этом публикуется все больше свидетельств, указывающих на его токсичность для растений и животных, опасность для человека и увеличивающееся присутствие в окружающей среде и ее отдельных компонентах, включая почву, поверхностные и подземные воды [18; 24–33]. Как следствие, любое увеличение его концентраций, имеющее техногенные причины, должно рассматриваться в качестве экологической угрозы, делающей актуальным изучение соответствующей проблематики.

Наиболее очевидным аспектом экологической проблематики, связанной с использованием лития, является локальное воздействие на окружающую среду при его добыче и накоплении отходов с литийсодержащими материалами (прежде всего, речь идет об использованных литиевых батареях). Хотя литий широко распространен в геологической среде, его основные месторождения приурочены к довольно специфическим ее участкам, связанным с гранитовыми пегматитами, рассолами (прежде всего, в слагах) и глинистыми отложениями, подвергшимися воздействию термальных вод [34–39]. Они активно осваиваются в Австралии, Аргентине, Боливии, Китае, США и ряде других стран. Вполне очевидно, что при извлечении сподумена (важнейший литийсодержащий минерал) из пегматитов имеет место нарушение окружающей среды. Однако ее загрязнение происходит большей частью не собственно литием, а различными химическими веществами, используемыми при добыче и первичной переработке руды и далее попадающими в отходы [40]. Что касается его получения из рассолов, которые постепенно приобретают все большую значимость в качестве источников данного металла для промышленности [39–42], то в данном случае экологические следствия оказываются намного серьезнее. Помимо некоторого прямого влияния, связанного, в частности, с реорганизацией землепользования, стоит учитывать увеличение водопользования (при выпаривании до 90 % воды из рассолов) и прочие эффекты [40; 43]. Отметим, что такое косвенное воздействие представляется довольно значительным на всех стадиях извлечения и переработки литиевых руд для получения используемых в промышленности литийсодержащих материалов [40]. Кроме того, загрязнение окружающей среды данным металлом возможно производствами, использующими такие материалы [24–26].

Исключительно большую опасность представляют использованные или вышедшие из строя литиевые батареи, в том числе в местах накопления бытовых и производственных отходов [24; 25; 44–46]. Несмотря на наличие технологий извлечения из них лития для повторного использования [47–50], а также экономическую и экологическую выгодность рециклинга [51], последний все еще не пользуется широким распространением [52]. В конце 2010-х гг. в мире перерабатывалось лишь порядка 5 % соответствующих отходов [45]. Более того, осуществляющие его предприятия сами могут стать источником загрязнения всех компонентов ландшафта [24]. Важно добавить, что цикл обращения с литием предполагает, в частности, значительные энергозатраты и использование транспорта, что косвенно вносит вклад в глобальное потепление, а переход к использованию месторождений с более бедными рессолами приводит к увеличению экологической нагрузки [40]. Есть указания на то, что косвенное воздействие на окружающую среду существенно выше при получении лития из коренных пород [44]. С учетом масштабов добычи лития и использования батарей такого рода эффекты можно признать глобальными.

В производстве литиевых батарей используются различные химические компоненты [15], часть которых токсична и при попадании в окружающую среду способна вызвать ее загрязнение. В частности, речь идет о тяжелых металлах [46]. Несмотря на успешность разработок, направленных на экологизацию литиевых батарей [53], негативное воздействие при попадании последних в окружающую среду столь значительно и разнообразно [46], что его полная минимизация сама по себе требует существенного технологического «прорыва».

Сказанное выше составляет лишь часть экологической проблематики, связанной с использованием лития. В действительности может быть обнаружен еще ряд заслуживающих внимания аспектов. Прежде всего, речь идет о рисках, связанных с недостаточной изученностью лития в качестве металла, загрязняющего окружающую среду, и механизмов его распространения в последней. Безусловно, соответствующие пробелы в знаниях могут быть восполнены в ходе научных исследований, однако их массовое проведение в любом случае будет существенно отставать от динамики и масштаба производственных процессов и социально-технологической трансформации. Эта проблема отмечается многими специалистами и признана ими весьма серьезной [18; 25; 45; 46]. Налицо ситуация, когда технологический «прорыв» явно опережает интеллектуальный, что само по себе примечательно. Умение приспосабливаться и использовать возможности предшествует полному осмыслению этих процессов на цивилизационном уровне.

Два других аспекта рассматриваемой экологической проблематики, — диверсификация загрязняющих веществ и расширение географии загрязнения. Действительно, использование лития как будто способствует решению ряда уже существующих экологических проблем и, в частности, сокращению выбросов углекислого газа за счет перехода к электротранспорту [15]. Однако при этом эти выбросы не прекращаются вовсе, и при этом вступает в действие загрязнение самим литием. Даже если предположить, что общее антропогенное воздействие на окружающую среду при этом уменьшится, появление нового поллютанта само по себе усложняет механизм общего (суммарного) загрязнения, а это уже экологический вызов. Аналогичным образом извлечение лития из недр происходит в новых локусах, т. е. имеет место экспансия горнодобывающей деятельности и связанных с ней экологических эффектов. Характерный пример — салары запада Южной Америки (т. н. «Литиевый треугольник»), разрабатываемые именно в целях получения лития. Эксплуатация богатейших ресурсов приводит к существенному воздействию на окружающую среду, особенно поверхностные и подземные воды, а также уникальные местные экосистемы [33; 54; 55]. При этом другие, ранее загрязненные иными веществами территории не восстанавливаются мгновенно. Как следствие, загрязнение приобретает экстенсивный характер — его площадь расширяется в мировом

масштабе за счет приращения участками, на которых происходит активное поступление лития в окружающую среду.

Использование лития предполагает как усовершенствование, так и усложнение технологий [15; 56; 57]. То же самое относится к технологиям его извлечения из недр, а также утилизации литиевых батарей. Можно выдвинуть предположение о росте рисков технологических сбоев, приводящих к загрязнению окружающей среды. При этом как новизна технологий, так и недостаточно четкое понимание экологических эффектов происходящей социально-технологической трансформации (см. выше) существенно увеличивают эти риски. Еще одно предположение, которое можно сделать в контексте имеющейся информации, касается такого аспекта рассматриваемой экологической проблематики, как возможное снижение внимания к традиционным загрязняющим веществам в силу появления новых тем для изучения и обсуждения. Специалисты совершенно правы, указывая на недостаточную изученность лития в аспекте загрязнения [18; 25; 45; 46]. Заполнение соответствующих пробелов потребует реализации большого числа исследовательских проектов, которые будут иметь исключительную актуальность в свете ожидаемого роста использования данного металла. Как следствие, может иметь место смещение фокуса исследований на эту, более перспективную (в том числе в плане опубликования результатов, получения финансирования и общественного резонанса) тематику. Однако загрязнение окружающей среды происходит не только и не столько за счет лития, и, следовательно, другие в действительности важные, но постепенно утрачивающие актуальность тематики требуют продолжения изучения. Философский вопрос заключается в том, насколько современное научное сообщество готово не смещать, а именно расширять исследовательский фокус, избегая при этом избыточных акцентов.

### Обсуждение результатов

Предпринятый анализ экологической проблематики, связанной с использованием лития, выявляет несколько ее аспектов, пересекающихся в пределах одного и того же поля (рис. 2). По сути, эта проблематика связана не только и даже не столько с непосредственным загрязнением окружающей среды, сколько со всей социально-технологической трансформацией, для которой литий оказывается критичным.



Рисунок 2. Концептуальное представление экологической составляющей литиевой трансформации (составлено авторами)

Выявленные аспекты четко указывают на отсутствие баланса между общественными интересами и экологическими угрозами с одной стороны и потенциалом науки с другой. Налицо ситуация, когда научное сообщество оказывается не в состоянии адекватно отреагировать на возникающие вызовы. Оно не выполняет в должной степени ни прогностическую, ни организационно-лидерскую функции, которые как раз и призваны снизить остроту рассматриваемой проблематики при происходящей социально-технологической трансформации. В этом отношении недостатки эколого-технологического форсайта (они отмечаются [26]) созвучны тем, которые характерны для социально-технологического форсайта [58; 59]. Однако подобного рода проблемы лежат вне плоскости собственно экологической проблематики и вряд ли имеют отношение к текущей социально-технологической трансформации в целом. При должном подходе к организации исследовательской деятельности они выглядят вполне решаемыми.

Выявление сразу нескольких экологических аспектов, связанных с использованием лития, вовсе не указывает на некоторый тупик в развитии, когда противоречия между экологическими и технологическими трендами приобретают неразрешимый характер. Ретроспективный анализ обнаруживает, что подобного рода проблематика всегда возникает при крупных социально-технологических трансформациях, которые сами по себе неизбежны. Свидетельства тому — колоссальное воздействие на атмосферу при становлении сельского хозяйства (прежде всего, рисоводства) и развития некоторых практик землепользования на заре цивилизации [60–62], грандиозные негативные экологические эффекты в ходе промышленной революции в XIX веке [63], масштабное загрязнение окружающей среды ртутью при освоении золотых и серебряных месторождений Северной Америки 150 лет назад [64]. Вопросы о том, насколько эти воздействия удалось снизить (и удалось ли это сделать в принципе) и восстановились ли экосистемы, зачастую остаются открытыми [65]. Тем не менее изучение реализации социально-технологических трансформаций и связанной с ней экологической проблематики в прошлом может дать важную информацию, необходимую для устранения вышеотмеченных противоречий. Как минимум, она может быть значима для концептуального моделирования механизмов, обеспечивающих баланс между прогрессом и оптимальным состоянием окружающей среды.

### Заключение

Проведенный анализ имеющейся информации позволяет предложить многоаспектную концептуальную основу для интерпретации экологической проблематики, связанной с литиевой трансформацией. Показано, что эта проблематика проявляется не только в прямом и косвенном, локальном и глобальном воздействии на окружающую среду, то также в недостаточной и при этом запаздывающей изученности лития, диверсификации загрязняющих веществ и расширении географии загрязнения одновременно с попытками технологической экологизации, увеличении рисков, связанных с усложнением технологий, неоправданном смещении исследовательского фокуса. Общее, философское значение сделанных заключений может быть сведено к тому, что устанавливается глубокая привязка узкой проблематики к широкому комплексу явлений, характеризующих социально-технологическую трансформацию. Внимание при этом стоит обратить на то, что эта проблематика частично определяется особенностями исследовательской деятельности, организация которой нуждается в очевидной оптимизации.

Данная работа представляет собой концептуальный взгляд на экологическую проблематику литиевой трансформации, намечая лишь некоторые принципиальные перспективы для ее изучения. Вполне вероятно, что в дальнейшем могут быть установлены и другие аспекты этой проблематики. Важным видится проведение сравнительно-исторических

и форсайт-ориентированных исследований экологических аспектов различных социально-технологических трансформаций для выделения их универсальных и уникальных особенностей, что само по себе важно для выработки рекомендаций по минимизации антропогенного воздействия на окружающую природную среду, в том числе и при попытках экологизации за счет технологических «прорывов».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гирусов Э.В. Философия и экологическое мировоззрение // Философские науки. — 2011. — № 6. — С. 63–64.
2. Смирнов С.В., Курманалиева А.Д. Роль философии в осмыслении глобальной экологической проблематики // Коэволюция и ноосфера: исследования, аналитика, прогнозирование. — 2019. — № 3. — С. 22–26.
3. Толкачев О.М., Рябова Е.Л. Философия экологии. Экологические вопросы в развитии науки // Этносоциум и межнациональная культура. — 2008. — № 5. — С. 8–12.
4. De Carvalho Cabral D. Horizontality, Negotiation, and Emergence: Toward a Philosophy of Environmental History // *Historia Ambiental Latinoamericana y Caribena*. — 2021. — V. 11. — P. 234–258.
5. Goralnik L., Nelson M.P. Framing a philosophy of environmental action: Aldo Leopold, John Muir, and the importance of community // *Journal of Environmental Education*. — 2011. — V. 42. — P. 181–192.
6. LeVasseur T. Environmental philosophy in a post-ice cap North Polar world // *Environmental Ethics*. — 2014. — V. 36. — P. 303–317.
7. Vogel S. Environmental philosophy after the end of nature // *Environmental Ethics*. — 2002. — V. 24. — P. 23–39.
8. Вернадский В.И. Несколько слов о ноосфере // *Успехи современной биологии*. — 1944. — № 18. — С. 113–120.
9. Lovelock J.E., Margulis L. Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the Gaia hypothesis // *Tellus*. — 1974. — V. 26. — P. 2–10.
10. Ruse M. *The Gaia hypothesis. Science on a pagan planet*. — Chicago: University of Chicago Press, 2013. — 251 p.
11. Henning B.G. From the Anthropocene to the Ecozoic: Philosophy and Global Climate Change // *Midwest Studies in Philosophy*. — 2016. — V. 40. — P. 284–295.
12. Heurtebise J.-Y. Philosophy of energy and energy transition in the age of the petro-Anthropocene // *Journal of World Energy Law and Business*. — 2020. — V. 13. — P. 100–113.
13. Масленников А.О. Аккумуляторные системы хранения энергии как game changer в перестройке мировой электроэнергетики // *Контурные глобальных трансформаций: политика, экономика, право*. — 2022. — № 1. — С. 102–127.
14. Shehzad K., Zaman U., Zaman B.U., Liu X., Jafri R.A. Lithium production, electricity consumption, and greenhouse gas emissions: An imperious role of economic globalization // *Journal of Cleaner Production*. — 2022. — V. 372. — P. 133689.

15. Voropaeva D.Yu., Safronova E.Yu., Novikova S.A., Yaroslavtsev A.B. Recent progress in lithium-ion and lithium metal batteries // *Mendeleev Communications*. — 2022. — V. 32. — P. 287–297.
16. Mirjalili A., Dong B., Zerrin T., Akhavi A.-A., Kurban M., Ozkan C.S., Ozkan M. Superporous nanocarbon materials upcycled from polyethylene terephthalate waste for scalable energy storage // *Journal of Energy Storage*. — 2023. — V. 58. — P. 106329.
17. Wang Y., Li A., Zhang S., Guo B., Niu D. A review on new methods of recycling waste carbon fiber and its application in construction and industry // *Construction and Building Materials*. — 2023. — V. 367. — P. 130301.
18. Barbosa H., Soares A.M.V.M., Pereira E., Freitas R. Lithium: A review on concentrations and impact in marine and coastal systems // *Science of the Total Environment*. — 2023. — V. 857. — P. 159374.
19. Ambrose H., Kendall A. Understanding the future of lithium: Part 1, resource model // *Journal of Industrial Ecology*. — 2019. — V. 24. — P. 89–89.
20. Ambrose H., Kendall A. Understanding the future of lithium: Part 2, temporally and spatially resolved life-cycle assessment modeling // *Journal of Industrial Ecology*. — 2020. — V. 24. — P. 90–100.
21. Раицкая Л.К., Тихонова Е.В. Обзор обзоров как инструмент выявления трендов в исследуемой области знания // *Высшее образование в России*. — 2020. — № 3. — С. 37–57.
22. Pranckute R. Web of Science (WoS) and Scopus: The Titans of Bibliographic Information in Today's Academic World // *Publications*. — 2021. — V. 9. — P. 12.
23. Zhai X., Razali A.B., Sulaiman T. Synthesis of the Types and Trends of Review Articles // *Education Research International*. — 2022. — 2022. — P. 9431277.
24. Adams Kszos L., Stewart A.J. Review of Lithium in the Aquatic Environment: Distribution in the United States, Toxicity and Case Example of Groundwater Contamination // *Ecotoxicology*. — 2003. — V. 12. — P. 439–447.
25. Bolan N., Hoang S.A., Tanveer M., Wang L., Bolan S., Sooriyakumar P., Robinson B., Wijesekara H., Wijesooriya M., Keerthanan S., Vithanage M., Markert B., Franzle S., Wunschmann S., Sarkar B., Vinu A., Kirkham M.B., Siddique K.H.M., Rinklebe J. From mine to mine and mobiles — Lithium contamination and its risk management // *Environmental Pollution*. — 2021. — V. 290. — P. 118067.
26. Chow A.T. Proactive approach to minimize lithium pollution // *Journal of Environmental Quality*. — 2022. — V. 51. — P. 872–876.
27. Fraga N., Benito D., Briaudeau T., Izagirre U., Ruiz P. Toxicopathic effects of lithium in mussels // *Chemosphere*. — 2022. — V. 307. — P. 136022.
28. Franzaring J., Schlosser S., Damsohn W., Fangmeier A. Regional differences in plant levels and investigations on the phytotoxicity of lithium // *Environmental Pollution*. — 2016. — V. 216. — P. 858–865.
29. Martins A., da Silva D.D., Silva R., Carvalho F., Guilhermino L. Warmer water, high light intensity, lithium and microplastics: Dangerous environmental combinations to zooplankton and Global Health? // *Science of the Total Environment*. — 2023. — V. 854. — P. 158649.

30. Santos D., Leite C., Pinto J., Soares A.M.V.M., Pereira E., Freitas R. How will different scenarios of rising seawater temperature alter the response of marine species to lithium? // *Science of the Total Environment*. — 2023. — V. 856. — P. 158728.
31. Sharma N., Westerhoff P., Zeng C. Lithium occurrence in drinking water sources of the United States // *Chemosphere*. — 2022. — V. 305. — P. 135458.
32. Tanveer M., Hasanuzzaman M., Wang L. Lithium in Environment and Potential Targets to Reduce Lithium Toxicity in Plants // *Journal of Plant Growth Regulation*. — 2019. — V. 38. — P. 1574–1586.
33. Xu Z., Zhang Z., Peng S., Yuan Y., Wang X. Influences of lithium on soil properties and enzyme activities // *Chemosphere*. — 2023. — V. 313. — P. 137458.
34. Абдулкадыров А.С., Мальсагова Х.С. Возможности реализации инвестиционного проекта по возданию высокотехнологичного комплекса на базе месторождений геотермальных ресурсов с целью извлечения лития // *Индустриальная экономика*. — 2022. — № 3. — С. 635–638.
35. Толкушкина Е.А., Торикова М.В., Комин М.Ф. Минерально-сырьевая база лития: проблемы развития и использования // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. — 2012. — № 2. — С. 2–9.
36. Dill H.G. The “chessboard” classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminium to zirconium // *Earth-Science Reviews*. — 2010. — V. 100. — P. 1–420.
37. Godfrey L., Alvarez-Amado F. Volcanic and Saline Lithium Inputs to the Salar de Atacama // *Minerals* — 2020. — V. 10. — P. 201.
38. Ide F.Y. Origin of lithium in Salar de Atacama, Northern Chile // *Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series*. — 1989. — V. 11 — P. 165–172.
39. Lopez Steinmetz R.L., Salvi S. Brine grades in Andean salars: When basin size matters: A Review of the Lithium Triangle // *Earth-Science Reviews*. — 2021. — V. 217. — P. 103615.
40. Chordia M., Wickerts S., Nordelöf A., Arvidsson R. Life cycle environmental impacts of current and future battery-grade lithium supply from brine and spodumene // *Resources, Conservation and Recycling*. — 2022. — V. 187. — P. 106634.
41. Cabello J. Lithium brine production, reserves, resources and exploration in Chile: An updated review // *Ore Geology Reviews*. — 2021. — V. 128. — P. 103883.
42. Cabello J. Reserves, resources and lithium exploration in the salt flats of northern Chile // *Andean Geology*. — 2022. — V. 49. — P. 297–306.
43. Liu W., Agusdinata D.B., Myint S.W. Spatiotemporal patterns of lithium mining and environmental degradation in the Atacama Salt Flat, Chile // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. — 2019. — V. 80. — P. 145–156.
44. Jiang S., Zhang L., Li F., Hua H., Liu X., Yuan Z., Wu H. Environmental impacts of lithium production showing the importance of primary data of upstream process in life-cycle assessment // *Journal of Environmental Management*. — 2020. — V. 262. — P. 110253.

45. Melchor-Martinez E.M., Macias-Garbett R., Malacara-Becerra A., Iqbal H.M.N., Sosa-Hernandez J.E., Parra-Saldivar R. Environmental impact of emerging contaminants from battery waste: A mini review // *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. — 2021. — V. 3. — P. 100104.
46. Mrozik W., Rajaeifar M.A., Heidrich O., Christensen P. Environmental impacts, pollution sources and pathways of spent lithium-ion batteries // *Energy & Environmental Science*. — 2021. — V. 14. — P. 6099.
47. Pražanová A., Knap V., Stroe D.-I. Literature Review, Recycling of Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles, Part I: Recycling Technology // *Energies*. — 2022. — V. 15. — P. 1086.
48. Wang R., Zhang Y., Sun K., Qian C., Bao W. Emerging green technologies for recovery and reuse of spent lithium-ion batteries — a review // *Journal of Materials Chemistry A*. — 2022. — V. 10. — P. 17053–17076.
49. Wei Q., Wu Y., Li S., Chen R., Ding J., Zhang C. Spent lithium ion battery (LIB) recycle from electric vehicles: A mini-review // *Science of the Total Environment*. — 2023. — V. 866. — P. 161380.
50. Wu J., Zheng M., Liu T., Wang Y., Liu Y., Nai J., Zhang L., Zhang S., Tao X. Direct recovery: A sustainable recycling technology for spent lithium-ion battery // *Energy Storage Materials*. — 2023. — V. 54. — P. 120–134.
51. Blomeke S., Scheller C., Cerdas F., Thies C., Hachenberger R., Gonter M., Herrmann C., Spengler T.S. Material and energy flow analysis for environmental and economic impact assessment of industrial recycling routes for lithium-ion traction batteries // *Journal of Cleaner Production*. — 2022. — V. 377. — P. 134344.
52. Swain B. Recovery and recycling of lithium: A review // *Separation and Purification Technology*. — 2017. — V. 172. — P. 388–403.
53. Butova V.V., Aboraia A.M., Shapovalov V.V., Dzhangiryan N.A., Papkovskaya E.D., Ilin O.I., Kubrin S.P., Guda A.A., Soldatov A.V. Iron (II) fluoride cathode material derived from MIL-88A // *Journal of Alloys and Compounds*. — 2022. — V. 916. — P. 165438.
54. Gutierrez J.S., Navedo J.G., Soriano-Redondo A. Atacama imperilled by lithium mining // *Nature*. — 2018. — V. 557. — P. 492.
55. Lo Russo S., Mondani M., Giglio E. Environmental and geostrategic effects of raw materials supply supporting the energy transition and electric mobility: A focus on the "lithium triangle" in South America // *Geingegneria Ambientale e Mineraria*. — 2021. — V. 162. — P. 25–33.
56. Hamed M.M., El-Tayeb A., Moukhtar I., El Dein A.Z., Abdelhameed E.H. A review on recent key technologies of lithium-ion battery thermal management: External cooling systems // *Results in Engineering*. — 2022. — V. 16. — P. 100703.
57. Ziegler M.S., Song J., Trancik J.E. Determinants of lithium-ion battery technology cost decline // *Energy and Environmental Science*. — 2021. — V. 14. — P. 6074–6098.
58. Журавлев А.Л., Нестик Т.А. Социально-психологические последствия внедрения новых технологий: перспективные направления исследований // *Психологический журнал*. — 2019. — № 5. — С. 35–47.

59. Мазиллов В.А., Слепко Ю.Н. Социальное прогнозирование: от форсайта к методологии анализа социально-психологических последствий внедрения новых технологий // Психологический журнал. — 2021. — № 2. — С. 115–121.
60. Ruddiman W.F. How did humans first alter global climate? // Scientific American. — 2005. — V. 292. — P. 46–53.
61. Ruddiman W.F., Guo Z., Zhou X., Wu H., Yu Y. Early rice farming and anomalous methane trends // Quaternary Science Reviews. — 2008. — V. 27. — P. 1291–1295.
62. Vavrus S.J., Kucharik C.J., He F., Kutzbach J.E., Ruddiman W.F. Did agriculture beget agriculture during the past several millennia? // Holocene. — 2022. — V. 32. — P. 680–689.
63. Fowler D., Brimblecombe P., Burrows J., Heal M.R., Grennfelt P., Stevenson D.S., Jowett A., Nemitz E., Coyle M., Lui X., Chang Y., Fuller G.W., Sutton M.A., Klimont Z., Unsworth M.H., Viero M. A chronology of global air quality: The development of global air pollution // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. — 2020. — V. 378. — P. 20190314.
64. Strode S., Jaeglé L., Selin N.E. Impact of mercury emissions from historic gold and silver mining: Global modeling // Atmospheric Environment. — 2009. — V. 43. — P. 2012–2017.
65. Whelan M.J., Linstead C., Worrall F., Ormerod S.J., Durance I., Johnson A.C., Johnson D., Owen M., Wiik E., Howden N.J.K., Burt T.P., Boxall A., Brown C.D., Oliver D.M., Tickner D. Is water quality in British rivers “better than at any time since the end of the Industrial Revolution”? // Science of the Total Environment. — 2022. — V. 843. — P. 157014.

**Mikhailenko Anna Vladimirovna**

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

E-mail: [avmihaylenko@sfnu.ru](mailto:avmihaylenko@sfnu.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1156-770X>

RSCI: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=712702](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=712702)

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=55971159100>

**Ruban Dmitry Aleksandrovitch**

Southern Federal University, Moscow, Russia

E-mail: [ruban-d@mail.ru](mailto:ruban-d@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2847-645X>

RSCI: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=114734](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=114734)

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=8520926600>

## **Ecological problematic under socio-technological transformations: conceptualization by example of lithium use**

**Abstract.** Socio-technological transformations are conjugated with ecological problematic. Particularly, an increase in lithium use (also for the purposes of ecologization) facilitates strengthening its importance as metal polluting environment. This work aims at conceptualization of the relevant problematic. Methodologically, it is based on systematization of literature data and their meta-analysis in the course of construction of conceptual model. The results imply that ecological problems are related to as lithium extraction (also from salars), as utilization of batteries using this metal; pollutants can be rather diverse. The complexity is created by insufficient ecological investigations of lithium. The attention is paid to diversification of pollutants and extending geography of pollution. Complication of technologies linked to lithium cycling itself is a challenge because it increases the risk of technological failures. Evidently, research interests and their shifts have also direct relation to the considered problematic. The obtained results can be interpreted so that science development “delays” to ecological problematic in the course of socio-technological transformation. Eco-technological foresight demonstrates evident deficiencies. However, the questions of this kind raised during the others, earlier transformations; and it remains unclear whether they have been solved successfully and the relative ecological problems have been minimized. Generally, the undertaken conceptualization should receive philosophical treatment. These are epistemological investigations that can facilitate formulating practical recommendations (also for the contemporary research community).

**Keywords:** accumulators; pollution; conceptual model; society transformation; environment; recycling; eco-technological foresight