

УДК 528.44:502.7

DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-160-168

Системный анализ сферы недропользования

Ю. В. Лебедев^{1*}, В. Г. Крылов¹

¹ Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация
e-mail: taranova.ekb@bk.ru

Аннотация. Целью настоящей работы является выработка концептуальных подходов, включающих основные понятия, смыслы, задачи и критерии их решения, обеспечивающие коллективный успех специалистов в области недропользования на всех этапах его реализации, в том числе способные создавать продуктивные способы междисциплинарного общения и взаимопонимания между бизнес-структурами, геологами, топографами, экологами, экономистами и социологами. Отметим практическую актуальность данной задачи, решение которой требует проработки теоретических концептов системы недропользования с учетом современных тенденций перехода к «зеленой» экономике и энергетике. Преодоление указанных трудностей является, на наш взгляд, необходимым результатом, поскольку значимых достижений здесь пока не наблюдается. С учетом достижения поставленной цели проанализировано состояние проблемы междисциплинарного подхода к сфере недропользования в условиях новых вызовов, рисков и неопределенностей. Показано, что в настоящее время сфера недропользования рассматривается разбитой на отдельные фрагменты, требующих внимания разных специалистов: в области геологии, геофизики, геодезии, территориального планирования, техники, экологии, экономики, социологии, менеджмента и др. Рассмотрена суть междисциплинарного подхода, включающая формализованную модель сферы недропользования, характеризуемую пространством параметров состояния и управления, критериями эффективности. Дана формальная постановка задачи оптимизации управления некоторой системы недропользования, представлен основной функционал с критериями, требующими оптимизации. Подчеркнута актуальность решения таких задач, правильность выбора критериев в которых отражает содержание текущей экономической политики и способна стать мощным фактором социально-экономического развития России и ее регионов. Конкретизированы технический и математический аспекты решаемой многокритериальной задачи.

Ключевые слова: сфера недропользования, новые вызовы, риски, неопределенности, междисциплинарный подход, модель системы, параметры системы, задачи оптимизации

Введение

В настоящее время вопросы междисциплинарного подхода к исследованию сложных систем составляют актуальную задачу в области обоснования опережающих рекомендаций по инновационному развитию и разработки перспективных инновационных решений в сфере недропользования в современных условиях, когда формируются новые вызовы [1], риски [2], неопределенности [3]. Сложные ситуации в экологической (загрязнение и трансформация окружающей среды), экономической (сокращение запаса доступных природных ресурсов), социальной (высокий уровень расслоения населения, рост протестной активности гражданского общества) и технологической (сырьевая база горнопромышленной отрасли в настоящее время со-

стоит из бедных, сложноструктурных, геодинамически опасных, тонковкрапленных руд) сферах горнопромышленного комплекса требуют глубокого научного анализа связей между природными, экономическими, социальными и технологическими факторами в регионах недропользования.

Смысл междисциплинарного подхода состоит в следующем. Дрейф к рассмотрению на промышленных территориях связей технологических операций с окружающей экологической, социальной и экономической средой ведет к учету и анализу потоков энергии (в природных и техногенных каналах), вещества (ресурсов, продукции) и информации (биологической, социальной, экономической и технологической) на основе междисциплинарного подхода. Необходимо комплексное решение эффективного функционирования

систем недропользования и благоприятного жизнеобеспечения гражданского общества на промышленных территориях.

Состояние проблемы системного анализа

Мировая наука развивает системные междисциплинарные исследования в сфере недропользования: Natural Resource Charter (хартия природных ресурсов), Technische Universität Bergakademie Freiberg (Фрайбергская горная академия), German-Russian Raw material Forum, монографии Edvard B. и Bazbier, Oran Young, Evinor Ostrom, Jain Ravi и Zengdi, Modak и Prasad и другие. Так, предложения хартии [4] исходят из того, что:

– при правильном использовании богатство полезных ископаемых может стать мощным инструментом экономического и социального прогресса общества;

– при плохом использовании полезных ископаемых (по словам хартии, их растрата) они могут вызвать экономическую нестабильность, социальные конфликты и причинить долговременный ущерб окружающей среде.

Аналогичные положения рассматривает академик Российской академии наук (РАН) К. Н. Трубецкой [5].

Л. А. Пучков [6] отметил, что «с позиции природного императива минерально-энергетических ресурсов ... бескризисное существование экономики можно ожидать, если дальнейшее развитие мировой цивилизации будет скоординировано с законами природы». А член-корреспондент РАН Д. Р. Каплунов [7] считает, что в мировой и отечественной науке недропользования «пока не нашли достаточного отражения принципы устойчивого развития недропользования аналогичные принципам освоения биологических ресурсов».

Доктор технических наук М. В. Рыльникова отмечает, что в настоящее время в вузах «выпускаются специалисты вчерашнего дня, знающие, как добывать сырье, а не как комплексно осваивать и грамотно, не нарушая естественного экологического баланса литосферы, преобразовывать недра земли» [8].

Междисциплинарный подход совпадает с содержанием понятия «конвергенция», по-

лагающем объединение разных наук. Так, в Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» развиваются нано-, био-, инфо-, когнитивные технологии [9]. Э. А. Хопунов [10] предложил посредством конвергенции объединить в рамках единых информационных систем комплекс наук о Земле: минералогия, геомеханику и геологию. Использование принципов конвергенции должно совмещаться с принципом дивергенции – углубления знаний в отдельных факторах системы. Так, при анализе инновационных процессов комплексной переработки минерального сырья учитывать результаты глубоких исследований по физико-химическим, биохимическим технологиям [11].

Специализация исследований создает барьер для взаимного понимания специалистами разных областей знаний, ограничивает видение всей сферы недропользования, не позволяет рационально и объективно прогнозировать будущее развитие природно-технических систем в условиях новых вызовов, рисков и неопределенностей [1–3].

Задачи практики недропользования – увеличивать объемы добычи полезных ископаемых, стремиться получать максимальную прибыль, загрязнять окружающую среду только в рамках предельно допустимой концентрации (ПДК) приводят к поверхностному представлению о целостной картине сферы недропользования, разделению ее на отдельные несвязанные фрагменты.

Инженеры-технологи в своей деятельности не понимают, что природная среда в первую очередь – основа жизни на Земле, в том числе и человеческого сообщества [12, 13], а уж затем – источник полезных ископаемых [14].

Особенно ярко эта проблема проявляется в северных регионах нефтегазодобычи [8], в районах традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера [15–17].

Возникла она и в районах нового освоения недр. Так, Хопёрское медно-никелевое месторождение в Воронежской области расположено на территории самых биопродуктивных почв мира. Томинское медное месторождение в Челябинской области расположено на территории водообеспечения г. Челябинска.

Скважинная добыча урана в Курганской области, считающаяся инновационным решением [18, 19], не обеспечена информацией о последствиях распространения радиоактивных растворов в подземном пространстве бассейна р. Тобола [20].

Биологи не могут убедить бизнес-структуры недропользования в том, что главное негативное влияние недропользования заключается не в видимом загрязнении окружающей среды (даже в пределах ПДК), а в невидимой миграции промышленных загрязнений в природных объектах – почве, воде, горных породах; в разрушении связей между элементами природных экосистем, в невидимых пока негативных последствиях природного недропользования [21].

Экономисты в сфере недропользования не могут, не хотят осуществлять равнозначный подход ко всем компонентам сферы недропользования – технологиям, экологии и социуму. В технологическом секторе оценивается все «до болтика», а в экологическом – лишь в целом оценивается природный потенциал, «ассимилирующая способность природной среды», размер ущерба [22]. А здесь также существует (а часть из них и реально «живет») множество специфических «болтиков», определяющих и экономическую особенность, значимость каждого «болтика» [23, 24], и зависимость от них всей экологической системы [25].

В социальной сфере недропользования экономические отношения – занятость населения, состояние здоровья, конфликты интересов – за редким исключением не рассматриваются. Социологи не могут найти общего языка с бизнес-структурами и экономистами по организации рационального природопользования, по согласованию своих долгосрочных предпочтений развития территорий с интересами собственников, владельцев, пользователей недр.

Результаты

Сфера недропользования представляет собой совокупность разрабатываемых участков недр (характеризующихся геологическими, геомеханическими и аэрогазодинамическими процессами), промышленных производств

(геологической разведки, добычи и обогащения минерального сырья, его глубокой переработки, использования и утилизации отходов), объединенных потоками энергии, вещества и информации между собой, с гражданским обществом (социумом) и с окружающей природной средой (воздухом атмосферы, водой, почвенно-растительным покровом). Такая система учитывает историю (формирование растительного покрова и фауны, образование полезных ископаемых, эволюцию растительного покрова), существующее состояние и будущие последствия недропользования. Потоки энергии, вещества и информации в системах недропользования функционируют в экологической, социальной, экономической и технологической сферах.

Для формализованного представления системы недропользования используется пространство параметров состояния (X) и управления (Y). Первые заданы, вторые можно изменять при формировании вариантов системы управления недропользованием. Это деление условно, так как любая группа параметров в зависимости от решаемых задач может характеризовать или состояние системы недропользования, или управление ею.

Параметры состояния разделены на независимые, характеризующие общий природно-ресурсный потенциал территории, его эколого-экономическую оценку, и зависимые производственные, описывающие нормативно-правовую базу многоцелевого использования. Перечень конкретных параметров недропользования приведен на рис. 1.

Среди параметров управления в качестве основных могут быть выделены параметры совершенствования процесса конкретного вида недропользования (s), комплексного использования полезных ископаемых (r), финансово-экономической сферы недропользования (f).

В задачах второго типа среди существующих систем недропользования находят такие, которые при определенных заданных значениях параметров управления обусловят экстремум критерия оптимальности U . Целевая функция имеет вид

$$U\{(a); (c); (b); (p)\} \rightarrow \text{ext}, \\ \text{при } \{(f); (s); (r)\} = \text{const}. \quad (1)$$



Рис. 1. Параметры сферы недропользования при междисциплинарном подходе

В таких задачах доминирует технологический аспект.

Критерии эффективности управления системами недропользования – количественно измеряемые величины. Следует исходить из того положения, что основной критерий формируется в соответствии со сформулированными выше целями и заключается в производстве определенного (не всегда максимального) количества материальных благ и обеспечения благоприятных условий окружающей природной среды с минимальными совокупными затратами живого и овеществленного труда.

В общем виде критерий оптимизации недропользования представляется в векторной форме

$$U = U(\max \mathcal{E}; \max \Pi; \min \mathcal{Z}), \quad (2)$$

где $\max \mathcal{E}$ – критерий максимального сохранения окружающей среды; $\max \Pi$ – критерий максимального использования природных ресурсов (полезных ископаемых); $\min \mathcal{Z}$ – минимум затрат.

Порядок решения многокритериальных задач в недропользовании методом последовательных уступок следующий.

Вначале исследуется первый по важности критерий K_1 и определяется его экстремальное значение Q_1 . Например, определяется вариант разработки рудного месторождения с максимальным сохранением окружающей природной среды (или с минимальным снижением природно-ресурсного потенциала территорий). Затем изучается влияние допустимого изменения (уступки) δ критерия K_1 и определяется экстремальное значение Q_2 – второго по важности критерия K_2 при условии, что значение каждого критерия K_i из $(n - 1)$ предыдущих должно быть не меньше соответствующей величины $(Q_i - \delta)$; получаемый в итоге вариант недропользования считается оптимальным.

Таким образом, оптимальным считается всякий вариант недропользования, являющийся решением последней задачи из следующей последовательности задач:

- 1) найти $Q_1 = K_1(U)$;

- 2) найти $Q_2 = K_2(U)$;
 при условии $K_1(U) \dots Q_1 - \delta$;

 n) найти $K_n(U) = Q_n$;
 $K_i(U) \dots Q_i - \dots$; $i = 1, 2, \dots, n - 1$.

Здесь $\sup K_i$ есть точная верхняя граница критерия K_i – его оптимальное значение. Заметим, что в случае, когда δ – нули, метод последовательных уступок доставляет наибольшие значения первому по важности частному критерию K_1 . Так, в процессе анализа вариантов разработки месторождения никеля в Воронежской области величина уступки δ – снижение природно-ресурсного потенциала территории, отчужден в 700 га – была принята равной нулю; величина уступки δ – затраты на добычу и переработку руды – также была принята практически равной нулю (проект, например, не учитывал стоимость 350 000 т чернозема на отчужденной территории).

В такой постановке решение задачи поиска оптимального варианта недропользования соответствовало максимальному сохранению окружающей среды $\sup K_1(U)$, а второй критерий K_2 в этой ситуации принимал значение $\sup K_2(U)$, равный нескольким миллиардам рублей, что для недродобывающей компании было неприемлемо [26].

В другом крайнем случае, когда величины уступок оказываются очень большими, например, такими, что

$$Q_i - \dots \inf K_i(U), \quad i = 1, 2, \dots, n - 1,$$

здесь $\inf K_i$ есть точная нижняя граница K_i .

Стратегия, получаемая с помощью этого метода, доставляет наибольшее значение последнему по важности частному критерию K_n . Так, в рассмотренном выше примере разработки никелевого месторождения в Воронежской области, если критериям K_1 (уровень со-

хранения окружающей среды) и K_2 (уровень затрат на разработку месторождения) придать при поиске большие уступки δ (допущение большого снижения природно-ресурсного потенциала территории и общих затрат на разработку месторождения), то наилучшим решением при трехкритериальной оптимизации будет вариант недропользования, соответствующий $K_3(U)$. Здесь K_3 отражает социальный аспект недропользования: занятость населения в экономике территории, среднюю заработную плату, состояние здоровья населения.

Таким образом, величины уступок, назначенные в многокритериальной задаче, можно рассматривать как своеобразную меру отклонения приоритета (степени относительной важности) частных критериев от жесткого, лексикографического.

Заключение

Междисциплинарный подход связан с необходимостью теоретически корректного сопоставления языков общения различных научных дисциплин [27–29].

Например, понятий: в экологии – биотическая регуляция окружающей среды, а в экономике – рост материального производства; в социологии – обеспечение благоприятных условий жизни, а в экономике – максимизация прибыли. Поэтому необходима выработка таких концептуальных понятий, которые позволили бы создавать продуктивные способы междисциплинарного общения и взаимопонимания в сфере недропользования между бизнес-структурами, экологами, социологами, экономистами. В преодолении этих трудностей на сегодняшний день значимых достижений не наблюдается.

Статья подготовлена при поддержке и в рамках гранта РНФ № 22-18-00053.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 г. [Электронный ресурс] : распоряжение Правительства РФ от 22.12.2018 № 2914-р. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Калыбеков Т., Жакыпбек Ы., Турсбеков С. В., Турсбекова Г. Ж. Проблемы оценки геологического риска при открытой разработке месторождений полезных ископаемых // Изв. вузов. Горный журнал. – 2014. – № 4. – С. 64–69.

3. Делать что должно, и будь что будет // Уральский рынок металлов. – 2012. – № 11. – С. 36–39.
4. Natural Resource Charter. – 2nd ed. – Natural resource governance institute, 2017. – 133 с.
5. Трубецкой К. Н. Решение проблем экологически сбалансированного освоения месторождений открытыми геотехнологиями // Горный журнал. – 2018. – № 6. – С. 17–24.
6. Пучков Л. А. Энергетический анализ мировых кризисов // Горный журнал. – 2015. – № 4. – С. 41–45.
7. Каплунов Д. Р., Радченко Д. Н. Принципы проектирования и выбор технологии освоения недр, обеспечивающих устойчивое развитие подземных рудников // Горный журнал. – 2017. – № 11. – С. 52–58.
8. Рыльникова М. В. Гармоничное развитие горной промышленности, науки и высшего образования – гарантия устойчивого состояния горно-промышленных регионов России // Устойчивое развитие горных территорий. – 2020. – № 1. – С. 154–161.
9. Ковальчук М. В., Нарайкин О. С., Яцишина Е. Б. Конвергенция наук и технологий – новый этап научно-технического развития // Вопросы философии. – 2013. – № 3. – С. 3–11.
10. Хопунов Э. А. Конвергенция технологий переработки минерального сырья // Изв. вузов. Горный журнал. – 2016. – № 4. – С. 131–139.
11. Чантурия В. А. Инновационные процессы комплексной глубокой переработки минерального сырья природного и техногенного происхождения // Горный журнал. – 2015. – № 7. – С. 29–37.
12. Вернадский В. И. Размышления натуралиста. Научная мысль как планетарное явление. – Кн. 2. – М. : Наука, 1977. – 271 с.
13. Экологическая альтернатива / под общ. ред. М. Я. Лемешева. – М. : Прогресс, 1990. – 800 с.
14. Козловский Е. А. Минеральные ресурсы в экономике Мира и России // Горный журнал. – 2015. – № 7. – С. 47–52.
15. Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югра : сб. тр. – Ханты-Мансийск : Наука-сервис, 2011. – 362 с.
16. Экология Ханты-Мансийского округа / под ред. В. В. Плотникова. – Тюмень : Софт дизайн, 1997. – 248 с.
17. Чижов Б. Е. Лес и нефть Ханты-Мансийского округа. – Тюмень : Изд-во Ю. Мандрики, 1998. – 144 с.
18. Солодов И. Н., Морозов А. А. Физико-химические геотехнологии – главный вектор развития уранодобывающей отрасли // Горный журнал. – 2017. – № 8. – С. 5–10.
19. Санников В. Н., Луценко Н. И. АО «Далур» – первое российское предприятие по добыче урана методом скважинного подземного выщелачивания // Горный журнал. – 2017. – № 8. – С. 23–27.
20. Мамонтов Ю. И., Еремин С. А. Быть ли Зауралью новым Чернобылем? // Советская Россия. – 2019. – № 146 (от 28.12.2019).
21. Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель : материалы Междунар. науч. конф. (Екатеринбург, 4–8 июня 2007 г.). – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2007. – 928 с.
22. Косолапов О. В., Игнатьева М. Н., Литвинова А. А. Формирование экономического ущерба, обусловленного загрязнением природных ресурсов при освоении недр // Изв. вузов. Горный журнал. – 2013. – № 4. – С. 53–57.
23. Большаков В. Н. и др. Новый подход к оценке стоимости биотических компонентов экосистем // Экология. – 1998. – № 5. – С. 339–448.
24. Лебедев Ю. В. и др. Подходы к оценке возмещения убытков на территориях традиционного природопользования малых народов Севера в ХМАО-Югре // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 2. – С. 234–237.
25. Лебедев Ю. В. Оценка лесных экосистем в экономике природопользования. – Екатеринбург : УрО РАН, 2011. – С. 34–37.
26. Керженцев А. С. Рвачи-вредители // Слова и дела. – 2015. – № 35.
27. Карпик А. П., Мусихин И. А., Ветошкин Д. Н. Интеллектуальные информационные модели территорий как эффективный инструмент пространственного и экономического развития // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 2. – С. 155–163.

28. Лебедева Т. А. Системный мониторинг и комплексная оценка лесных земель в промышленных регионах (на примере Урала и Западной Сибири) // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 2. – С. 170–182.

29. Муллаярова П. И., Николаева О. Н., Трубина Л. К. Геоэкологическая оценка и картографирование состояния озелененных территорий специального назначения // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 4. – С. 262–274.

Об авторах

Юрий Владимирович Лебедев – доктор технических наук, профессор кафедры природообустройства.

Виктор Гаврилович Крылов – старший преподаватель кафедры природообустройства.

Получено 05.05.2022

© Ю. В. Лебедев, В. Г. Крылов, 2022

System analysis of the subsurface use sphere

Y. V. Lebedev¹, V. G. Krylov¹*

¹Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: taranova.ekb@bk.ru

Abstract. The purpose of this work is to develop conceptual approaches that include the basic concepts, meanings, tasks and criteria for their solution, ensuring the collective success of specialists in the field of subsurface use at all stages of its implementation, including those capable of creating productive ways of interdisciplinary communication and mutual understanding between business structures, geologists, topographers, ecologists, economists and sociologists. We note the practical relevance of this task, the solution of which requires the elaboration of theoretical concepts of the subsurface use system, taking into account current trends in the transition to a "green" economy and energy. Overcoming these difficulties is, in our opinion, a necessary result, since significant achievements have not yet been observed here. Taking into account the achievement of this goal, the article analyses the state of the problem of an interdisciplinary approach to the "sphere of subsurface use" in the context of new challenges, risks and uncertainties. It is shown that at present the "sphere of subsurface use" is considered as divided into separate fragments that require the attention of different specialists: in the field of geology, geophysics, geography, territorial planning, engineering, ecology, economics, sociology, management, etc. The essence of the interdisciplinary approach is considered, including a formalized model of the "sphere of subsurface use", characterized by the space of state and management parameters, efficiency criteria. The formal formulation of the problem of optimizing the management of a certain "subsurface use system" is given, the main functionality with criteria requiring optimization is presented. The urgency of solving such problems is emphasized, the "correctness" of the criteria choice in which reflects the content of the current economic policy and can become a powerful factor in the socio-economic development of Russia and its regions. The technical and mathematical aspects of the multi-criteria problem being solved are specified.

Keywords: sphere of subsurface use, new challenges, risks, uncertainties, interdisciplinary approach, system model, system parameters, optimization tasks

REFERENCES

1. Decree of the Government of the Russian Federation of December 22, 2018 No. 2914-r Strategy for the development of the mineral resource base of the Russian Federation until 2035. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].

2. Kalybekov, T., Zhakypbek, Y., Tursbekov, S. V., & Tursbekova, G. Zh. (2014). Problems of assessing the geological risk in the open mining of mineral deposits. *Izvestiya Vuzov. Gornyy zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal]*, 4, 64–69 [in Russian].

3. Do what you must, and come what may. (2012). *Ural'skiy rynek metallov [Ural market of metals]*, 11, 36–39 [in Russian].

4. Natural Resource Charter (2nd ed.). (2017). Natural Resource Governance Institute, 133 p.
5. Trubetskoy, K. N. (2018). Addressing the challenges of *environmentally balanced mining of ground-based geotechnology*. *Izvestiya Vuzov. Gornyy zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal]*, 6, 17–24 [in Russian].
6. Puchkov, L. A. (2015). Energy analysis of world crises. *Izvestiya Vuzov. Gornyy zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal]*, 4, 41–45 [in Russian].
7. Kaplunov, D. R., & Radchenko, D. N. (2017). Design principles and selection of subsoil development technology to ensure the sustainable development of underground mines. *Izvestiya Vuzov. Gornyy zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal]*, 11, 52–58 [in Russian].
8. Rylnikova, M. V. (2020). The harmonious development of the mining industry, science and higher education is a guarantee of the sustainable state of the mining and industrial regions of Russia. *Ustoychivoye razvitiye gornyykh territoriy [Sustainable Development of Mountain Territories]*, 1, 154–161 [in Russian].
9. Kovalchuk, M. V., Naraykin O. S., & Yatsishina E. B. (2013). Convergence of sciences and technologies - a new stage of scientific and technological development. *Voprosy filosofii [Questions of Philosophy]*, 3, 3-11 [in Russian].
10. Hopunov, E. A. (2016). Convergence of mineral processing technologies. *Izvestiya Vuzov. Gornyy zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal]*, 4, 131–139 [in Russian].
11. Chanturia, V. A. (2015). Innovative processes of complex deep processing of mineral raw materials of natural and technogenic origin. *Izvestiya Vuzov. Gornyy zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal]*, 7, 29–37 [in Russian].
12. Vernadsky, V. I. (1977). *Razmyshleniya naturalista. Nauchnaya mysl' kak planetarnoye yavleniye: Kn. 2 [Reflections of a naturalist. Scientific thought as a planetary phenomenon: Book 2]*. Moscow: Nauka Publ., 271 p. [in Russian].
13. Lemeshev, M. Ya. (1990). *Ekologicheskaya al'ternativa [Ecological alternative]*. Moscow: Progress Publ., 800 p. [in Russian].
14. Kozlovsky, E. A. (2015). Mineral resources in the economy of the World and Russia. *Izvestiya Vuzov. Gornyy zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal]*, 7, 47–52 [in Russian].
15. *Sbornik trudov "Puti realizatsii neftegazovogo i rudnogo potentsiala KhMAO-Yugra" [Collection of works "Ways to realize the oil and gas and ore potential of Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra"]*. (2011). Khanty-Mansiysk: Nauka-Servis Publ., 362 p. [in Russian].
16. Plotnikov, V. V. (1997). *Ekologiya Khanty-Mansiyskogo okruga [Ecology of the Khanty-Mansiysk Okrug]*. Tyumen: Soft dizayn Publ., 248 p. [in Russian].
17. Chizhov, B. E. (1998). *Les i nef' Khanty-Mansiyskogo okruga [Forest and oil of the Khanty-Mansiysk Okrug]*. Tyumen: Yu. Mandrika Publ. 144 p. [in Russian].
18. Solodov, I. N., & Morozov, A. A. (2017). Physical and chemical geotechnologies - the main vector for the development of the uranium mining industry. *Izvestiya Vuzov. Gornyy zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal]*, 8, 5–10 [in Russian].
19. Sannikov, V. N., & Lutsenko, N. I. (2017). JSC "Dalur" is the first Russian enterprise for the extraction of uranium by the method of borehole in-situ leaching. *Izvestiya Vuzov. Gornyy zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal]*, 8, 23–27 [in Russian].
20. Mamontov, Yu. I., & Eremin, S. A. (2019, December 28). Should the Trans-Urals be a new Chernobyl? *Sovetskaya Rossiya [Soviet Russia]*, № 146 [in Russian].
21. Biological reclamation and monitoring of disturbed lands. (2007). In *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii [Proceedings of International Scientific Conference]* (928 p.). Yekaterinburg: Ural University Publ. [in Russian].
22. Kosolapov, O. V., Ignatieva, M. N., & Litvinova, A. A. (2013). Formation of economic damage caused by pollution of natural resources during the development of subsoil. *Izvestiya Vuzov. Gornyy zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal]*, 4, 53–57 [in Russian].
23. Bolshakov, V. N., Korytin, N. S., Kryazhimsky, F. V., & Shishmarev, V. M. (1998). A new approach to estimating the cost of biotic components of ecosystems. *Ekologiya [Ecology]*, 5, 339–448 [in Russian].
24. Lebedev, Yu. V. (2012). Approaches to the assessment of compensation for losses in the territories of traditional nature management of the small peoples of the North in Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2012: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 2. Ekonomicheskoe razvitie Sibiri i Dal'nego Vostoka. Ekonomika prirodnopol'zovaniia, zemleuстройство, lesouстроительство, upravlenii e nedvizhimost'iu [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2012: International Scientific*

Conference: Vol. 2. Economic Development of Siberia and the Far East. Environmental Economics, Land Management, Forestry Management and Property Management] (pp. 234–237). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

25. Lebedev, Yu. V. (2017). *Ekologicheskii ustoychivoe razvitie territoriy: patrioticheskiy vzglyad so-vetskogo cheloveka* [Environmentally sustainable development of territories: patriotic soviet look] (pp. 34–37). Ekaterinburg: UB RAS [in Russian].

26. Kerzhentsev, A. S. (2015). Ravenous Pests. *Slova i dela* [Words and Deeds], No. 35 [in Russian].

27. Karpik, A. P., Musikhin, I. A., & Vetoshkin, D. N. (2021). Intelligent information models of territories as an effective tool for spatial and economic development. *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 26(2), 155–163 [in Russian].

28. Lebedeva, T. A. (2019). System monitoring and comprehensive assessment of forest lands in industrial regions (on the example of the Urals and Western Siberia). *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 24(2), 170–182 [in Russian].

29. Mullayarova, P. I., Nikolaeva, O. N., & Trubina, L. K. (2018). Geo-ecological assessment and mapping of the state of green areas for special purposes. *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 23(4), 262–274 [in Russian].

Author details

Yuri V. Lebedev – D. Sc., Professor, Department of Environmental Engineering.

Viktor G. Krylov – Senior lecturer, Department of Environmental Engineering.

Received 05.05.2022

© *Y. V. Lebedev, V. G. Krylov, 2022*