ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

DOI 10.35264/1996-2274-2020-2-108-124

ОСОБЕННОСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В КОНТЕКСТЕ НАКОПЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА

В.М. Питулько, гл. науч. сотр. Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН, д-р геол.-мин. наук, *pitulko@rambler.ru*
Р.Р. Илющенко, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *renaldi@extech.ru*
В.В. Кулибаба, зав. лаб. Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН, канд. геол-минер. наук, *kouval@rambler.ru*

Рецензент: Н.Н. Казанцева

Рациональность природопользования включает оценку и компенсацию экологического ущерба собственнику природных ресурсов, что возможно лишь в актуализированных трехмерных границах его причинения. Преобладают объекты прошлого экологического ущерба регионального и муниципального уровня, риски и воздействия которых слабо изучены и несут в себе потенциал локального вторичного негативного воздействия.

В статье проанализированы вопросы рациональности природопользования при накоплении прошлого экологического ущерба. Обращено внимание на парагенетическую природу экономических и экологических составляющих деградации биосферных объектов, где страдающей стороной является не кадастровый земельный участок, а изменяющаяся экосистема, которая в концепции устойчивого развития есть основной объект управления. Однако прошлый экологический ущерб зачастую характеризуется только как плата за загрязнения и утраченные природные ресурсы, что недостаточно для его предупреждения или ликвидации. Применение модели оценки рисков развития специфической микрофлоры на объектах прошлого экологического ущерба в условиях длительного цикла почвенной резистентности позволяет формулировать эффективные решения по стимулированию самовосстановления зональных геосистем, в том числе по обезвреживанию гетерогенных отходов систем водоотведения от тяжелых металлов.

Обсуждена взаимосвязь природно-хозяйственных систем и наносимого ими ущерба, их взаимодействие с экономикой и окружающей средой на муниципальном уровне. Рациональное природопользование в этих условиях часто развивается при конфликте интересов аграрного и горнопромышленного комплексов.

В статье обозначены основные направления системной борьбы с объектами прошлого экологического ущерба на наиболее массовом (муниципальном) уровне. Подключение муниципальных ресурсов к ликвидации объектов прошлого экологического ущерба оптимизирует экологическую реновацию территорий. Методология реабилитации техногенных геосистем, включая и стандартные рекультивационные решения, является лишь тактическим средством ликвидации объектов прошлого экологического ущерба. Стратегия подлинно рационального природопользования состоит в разработке и осуществлении концепции превентивного предотвращения образования объектов прошлого экологического ущерба. Типовые мероприятия по реабилитации земельных ресурсов природно-хозяйственных систем направлены на увеличение их рыночной стоимости, обеспечивая в целом возрастание природного потенциала нарушенных территорий. Предложенные рекомендации затрагивают

не только компенсацию вреда, но и мотивацию по стимулированию ликвидации объектов прошлого экологического ущерба. Оригинальность авторского решения проблемы прошлого экологического ущерба состоит в оценке накопленного экологического вреда только в пределах измененной части геосистемы, а не в пределах всего рассматриваемого кадастрового участка.

Ключевые слова: природно-хозяйственные системы, рациональное природопользование, прошлый экологический ущерб, объекты прошлого экологического ущерба, накопленный экологический вред, Санкт-Петербургская агломерация, муниципалитеты.

FEATURES OF RATIONAL ENVIRONMENTAL USE IN THE RUSSIAN FEDERATION IN THE CONTEXT OF ACCUMULATED ENVIRONMENTAL DAMAGE

V.M. Pitulko, Chief Researcher, Saint-Petersburg Scientific Research Center for Environmental Safety RAS (NICEB RAS), Ph.D., *pitulko@rambler.ru*
R.R. Ilyushchenko, Head of Department, SRI FRCEC, *renaldi@extech.ru*
V.V. Kulibaba, Head of Laboratory, St. Petersburg Scientific Research Center for Environmental Safety RAS, Doctor of Geology and Mineralogy, *kouval@rambler.ru*

Rational nature management includes assessment and compensation of environmental damage to the owner of natural resources, which is possible only within the updated three-dimensional boundaries of its infliction. Objects of past environmental damage at the regional and municipal levels prevail, the risks and impacts of which are poorly studied and carry the potential of local secondary negative impact. The article analyzes the issues of rationality of nature management during the accumulation of past environmental damage. Attention is drawn to the paragenetic nature of the economic and environmental components of the degradation of biosphere objects, where the suffering party is not a cadastral land plot, but a changing ecosystem, which in the concept of sustainable development is the main object of management. However, past environmental damage is often characterized only as a payment for pollution and lost natural resources, which is not enough to prevent or eliminate it. The use of a risk assessment model for the development of specific microflora at sites of past environmental damage under conditions of a long cycle of soil resistance makes it possible to formulate effective solutions to stimulate the self-healing of zonal geosystems, including the neutralization of heterogeneous waste water disposal systems from heavy metals.

The interrelation of natural-economic systems and the damage caused by them, their interaction with the economy and the environment at the municipal level are discussed. Rational use of natural resources in these conditions often develops with a conflict of interests between the agrarian and mining complexes.

The article outlines the main directions of the systemic fight against objects of past environmental damage at the most massive (municipal) level. The connection of municipal resources to the elimination of objects of past environmental damage will optimize the ecological renovation of territories. The methodology for the rehabilitation of technogenic geosystems, including standard remediation solutions, is only a tactical means of eliminating objects of past environmental damage. The strategy of truly rational nature management consists in the development and implementation of the Concept of preventive prevention of the formation of objects of past environmental damage. Typical measures for the rehabilitation of land resources of natural and economic systems are aimed at increasing their market value, providing in general an increase in the natural potential of disturbed territories. The proposed recommendations affect not only compensation for harm, but also the motivation to stimulate the elimination of objects of past environmental damage. The originality of the author's solution to the problem of past environmental damage consists in assessing the accumulated environmental damage only within the changed part of the geosystem, and not within the entire considered cadastral site.

Keywords: natural and economic systems, rational use of natural resources, past environmental damage, objects of past environmental damage, accumulated environmental damage, St. Petersburg agglomeration, municipalities.

Введение

В широком смысле прошлый экологический ущерб (ПЭУ) выражается в разрыве естественных связей в природе. Однако традиционно [1, с. 38] под ним понимается ухудшение качества природных систем, произошедшее в результате нарушения экологических требований и связанного с этим обесценивания материальных и нематериальных благ, включая имущество, жизнь и здоровье человека. Считается, что невозможно компенсировать в стоимостном эквиваленте ущерб, причиненный окружающей среде (невосполнимый вред), а возмещение вреда в натуре возможно лишь частично, и такая компенсация является условной.

Понятие «экологическая реабилитация земель» значительно шире, чем «рекультивация» земельного отвода, занятого природно-хозяйственной системой, в итоге чего только устраняются очевидные изменения геосистемы и обеспечивается ее возврат в доступный хозяйственный оборот. Проекты рекультивации не в состоянии привести к полному восстановлению продуктивности и хозяйственной ценности нарушенных территорий, будучи лимитированными уровнем необратимых остаточных накоплений загрязняющих веществ.

Другими словами, в стоимостном выражении природопользователь оплачивает только то, что, как правило, не может быть восстановлено до естественного состояния, т. е. компенсируемый ущерб плюс некоторую плату (штраф, таксу) за невосполнимые биосферные потери (биоразнообразие, биопродуктивность и т. д.). Такая форма компенсаций широко используется при экологическом проектировании. Например, утрата рыбных ресурсов в зоне действия строительного проекта часто компенсируется финансированием рыборазводных ферм на прилегающей территории [2, с. 424]. Объективность экономической оценки последствий загрязнения окружающей среды и истощения природных ресурсов определяется реальностью материального ущерба от экологических нарушений [3, с. 15; 4, с. 43; 5, с. 120].

Объекты ПЭУ как новое явление антропогенного воздействия вынуждают природопользователей разрабатывать дополнительные меры борьбы с подобной формой вторичного загрязнения агроценозов. Возрастают и оценки приемлемого экологического риска для здоровья населения и окружающей среды в целом [6, с. 25].

Актуальность подобных исследований определяется практической необходимостью адекватной идентификации параметров объектов ПЭУ и закономерностей их развития в различных типах геосистем при обосновании территориальных программ ликвидации накопленного экологического ущерба, что в настоящее время представляет ключевую проблему практического управления для РФ. Недостатки научного обоснования нормативно-методической базы РФ по накопленному экологическому ущербу, свойственные единственному действующему с 2010 г. ГОСТу, приводят к искажению оценок баланса экологической безопасности территорий.

Геосистемы с объектами ПЭУ (ОПЭУ) формируют особую разновидность природно-хозяйственных систем, специфические жизненные циклы которых требуют их выделения и оценки с учетом комплекса ведущих параметров воздействия накопленного экологического ущерба. При этом формы ПЭУ в РФ, как и в любой стране мира, не исчерпываются реестром крупномасштабных техногенных объектов. Наиболее распространены ОПЭУ регионального и муниципального уровней. Риски воздействия таких объектов слабо изучены, что несет в себе потенциал локального возникновения источников опасного вторичного негативного загрязнения и нарушений. Особо следует выделить новую разновидность прошлого экологического ущерба, до сих пор малоисследованную: погребенные и подземные объекты (линзы нефтепродуктов, токсичных захоронений, закачка технологических стоков в пласт, вторичные гидрогеологические миграционные загрязнения и т. п.).

Обращение с ПЭУ отражает величину экологического долга, накопленного обществом [7, с. 10], и уровень рациональности применяемых технологий природопользования в рассматриваемых геосистемах [8, с. 20; 9, с. 30; 10, с. 15]. В данном случае рациональность тождественна экологической безопасности, которая сегодня обеспечивает гармоничную взаимосвязь и саморегуляцию естественных процессов при минимальном риске антропогенного воздействия на окружающую среду и генерируемые в ней негативные изменения [11, с. 205; 12, с. 174].

В основе модели расчета техногенного риска лежит алгоритм прямого баланса воздействия и экосистемного отклика, соответствующий проектно-нормативному состоянию действующей природно-хозяйственной системы (ПХС). Однако появление концепции устойчивого развития [11, с. 80] обозначило необходимость усложнения балансовой схемы рационального природопользования за счет введения в нее дополнительного фактора, учитывающего суммарное воздействие источников накопленного экологического ущерба (вреда).

Согласно этой концепции экосистема становится основным объектом управления в природопользовании, что требует определения реальной ценности услуг, которые экосистема предоставляет человеку, в том числе и для размещения в ней загрязнений. Большинство методов оценки ПЭУ опираются на дефиниции, зачастую характеризующиеся только как платежи за загрязнения и утраченные природные ресурсы, что не может быть достаточным для проработки мероприятий предупреждения или ликвидации ПЭУ [3, 5]. Особое значение имеет углубленная разработка методологии экологической экспертизы схем природопользования в условиях высокой плотности объектов накопленного ущерба. Общая парадигма рационального природопользования при учете ОПЭУ – оценка сверхнормативного уровня накопления загрязнений и величины предотвращенного экологического ущерба.

Под предметом исследования предлагается понимать совокупность структуры и свойств (набор существенных критериев) объектов ПЭУ, устойчивость динамического равновесия, границы выделения, закономерности трансформации и миграции токсичных ингредиентов на разных фазах их жизненного цикла.

Современное состояние исследований

Исторически борьба с влиянием ПЭУ была инициирована деятельностью Агентства по охране окружающей среды США и стран Евросоюза. К стандартным объектам ПЭУ (военные полигоны, промышленные районы, горнодобывающий комплекс, полигоны отходов) в последние десятилетия добавились районы добычи сланцевой нефти и газа (Пенсильвания, Луизиана, Техас) и территории ведения военных действий – в Югославии, Кувейте, Ираке, Сирии, Украине и Чечне [12, с. 209; 13, с. 75].

Организационные, законодательные, финансовые и технологические схемы ликвидации этих объектов за рубежом содержатся в многочисленных публикациях [14–18]. Во главе угла стоят ведение специальных регистровых баз объектов ПЭУ [19, 20], учет экологического состояния земельных участков при сделках с недвижимостью, варьирование стандартов очистки земель на основе критерия пригодности их для конкретного вида функционального использования [21–23]. В США с 1997 г. действует федеральное руководство по обращению с участками – brownfields, аналог российского термина «накопленный экологический вред» (НЭВ) [18]. Шестое издание книги основывается на упрощенном подходе к процессу восстановления загрязненных земель. Новые функции включают обновленный список ключевых проблем и лучших технологических методов управления ими, с включением нормативных требований к стандартам «очистки» или рекультивации ОПЭУ, что, по-видимому, должно быть реализовано и в РФ в форме справочника по вопросу рекультивации НЭВ.

Анализ рассматриваемой проблематики в европейских странах показывает [6, 13, 18], что она развивается по направлениям:

– планирования рекультивации объектов накопленного ущерба на урбанизированных территориях;

– оценки роли ландшафтно-зональных параметров при долговременном развитии объектов ПЭУ и критических показателей нагрузок от них на природно-территориальные комплексы.

Также широко исследуются долговременная динамика сукцессионных процессов среди ОПЭУ [14, 24, 25] и методы мониторинга всех компонентов таких объектов.

В РФ преобладают исследования в традиционном направлении технологической рекультивации нарушенных земель. Существенно меньшее внимание уделяется геоэкологическим аспектам функционирования объектов ПЭУ. Ликвидация ОПЭУ в России осуществляется в рамках одноименной Федеральной целевой программы, выбор объектов для которой основан на представлениях о «горячих экологических точках» (проект ЮНЕП/ГЭФ1 «Российская Федерация – Поддержка Национального плана действий по защите арктической морской среды». М., 2008). Проведение таких работ является общемировой тенденцией [6, 12, 15 и др.]. Однако до сих пор отсутствует единая методология их идентификации, оценки критических уровней воздействия и геоэкологических принципов отбора инвестиционных проектов их рекультивации [18]. В отечественных разработках проявлена целенаправленная специализация: промышленно-технологическая [13] и рационально-природопользовательская [6]. Сфера пользователей также специализирована: ликвидация «горячих точек» в рамках федеральных и региональных программ и восстановление биосферных ресурсов силами муниципальных властей.

В настоящее время регулирование предотвращения загрязнений окружающей среды в национальном законодательстве сопредельных с РФ государств идет по двум направлениям. Во-первых, принимаются нормы, ограничивающие преднамеренное размещение загрязняющих веществ. Во-вторых, вводятся международные стандарты в отношении защитного оборудования объектов ПЭУ, произвольное отступление от которых запрещается. Если раньше экологическая политика формировалась преимущественно на национальном уровне (или координировалась на двусторонней основе), то в настоящее время резко увеличилась потребность в международном сотрудничестве.

Методология исследования

Согласно концепции устойчивого развития поддержание здоровья компонентов природных экосистем является основной целью управления рациональным развитием ПХС. Постепенное изменение состояния окружающей среды ведет к появлению новых геосистем, представляющих объекты экологического ущерба. Данная форма элемента цикла ПХС с негативным воздействием на геосистемы одновременно является частью механизма эколого-экономического управления параметрами экологической безопасности административной территории. В итоге цель проведенного исследования в целом состоит в обеспечении **рационального управления** развитием природно-хозяйственных систем, которая реализуется в статье **через учет влияния на окружающую среду объектов ПЭУ.** Главное – оконтуривание ОПЭУ и расчет эколого-экономического ущерба.

Основными методами изучения элементного анализа почвогрунтов[2] Санкт-Петербургской агломерации в частном бассейне Финского залива (в границах Ленинградской обл.) являлись стандартные статистические сопоставления, использующие аналогию явлений и логический аппарат, а также картографический метод зонирования территорий по признакам распространенности и экологической опасности определенного вида воздействия от объектов ПЭУ.

Нами прокомментирован понятийный аппарат рационального природопользования, употребляемый в научной и нормативной литературе (табл. 1) и показавший острую необходи-

[1] Экологические «горячие точки» представляют собой источники или виды деятельности человека (или локальное суммарное воздействие), которые неблагоприятно отражаются на его здоровье, состоянии экосистем, их биологическом разнообразии, устойчивости, что влечет за собой негативные экономические последствия (снижение промысловых запасов, рекреационного потенциала, повышение профессиональной заболеваемости и т. д.), вызывая необходимость принятия мер по уменьшению либо ликвидации негативного воздействия.

[2] Атомно-абсорбционное определение на спектрометре с пламенной атомизацией AA 280FS.

мость уточнения понятий «деградация», «рекультивация», «реабилитация», «санация», «экологический ущерб» и других категорий, которые характеризуют конкретные технико-технологические аспекты воспроизводства земель сельскохозяйственного назначения. Эти термины относятся к различным по содержанию процессам восстановления и улучшения качества нарушенных и деградированных земель.

Таблица 1

Основные положения концепции рационального природопользования*

Понятие	Определение и сущность понятия
Устойчивое развитие	Удовлетворение потребностей нынешнего времени при одновременном сохранении возможности последующим поколениям удовлетворять свои нужды [13]. В области экологии – стабильность физических и экологических систем
Экологический ущерб	Ущерб компонентам окружающей среды и здоровью населения, нанесенный привносом загрязняющих веществ, выносом элементов плодородия почв, нарушением земель, изменением биологического разнообразия [12, 14, 28, с. 70]
Экономический вред	Уничтожение имущества, или нанесение ему повреждения, или упущенная выгода [5]
Накопленный экологический вред (НЭВ)	Эквивалентные затраты на меры по восстановлению, на предупредительные меры и последующие убытки от неблагоприятных изменений в экосистемах. Убытки от биологических опасностей [12, 14, 28]
Накопленный экологический ущерб (НЭУ)	Сформировавшиеся нарушения здоровья населения и окружающей среды, вызванные прошлой или продолжающейся хозяйственной деятельностью [6, 12, 15]
Экологические «горячие точки»	Территория, в пределах которой техногенные источники загрязнения оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую среду [29, с. 33]
Объекты накопленного экологического ущерба (ОНЭУ)	Земельные участки, загрязненные в результате прошлой хозяйственной деятельности и не используемые по этой причине в настоящее время [30, с. 108]
Объекты прошлого экологического ущерба (ОПЭУ)	Техногенно измененные части природной или природно-хозяйственной геосистемы, компоненты которой утратили нормативные показатели качества в результате прошлой хозяйственной деятельности [6, с. 10]

* Составил В.М. Питулько.

Результаты исследования

В статье все эти аспекты рассмотрены на примере Ленинградской обл. – типичного региона РФ с диверсифицированной экономикой.

Исходя из существа ОПЭУ и стадии жизненного цикла их развития были поставлены следующие задачи:

– типизация ОПЭУ и обзор работ по их рекультивации;

– проведение экспериментальной апробации методов оценки для особых типов ОПЭУ – объектов с погребенными компонентами прошлого экологического ущерба, не имеющих адекватных методик первичного мониторинга;

– выбор оптимального типа пространственной ГИС-модели для оценки экологического риска локальных систем с ОПЭУ территорий региона и муниципальных поселений бассейна Финского залива.

Объекты ПЭУ в регионе чрезвычайно разнообразны и находятся на различных стадиях жизненного цикла ПХС горнодобывающих предприятий и депозитариев твердых отходов,

комплексов подводных отвалов, хранилищ канализационных очистных сооружений, разрушенных гидротехнических сооружений, военно-технических и теплоэнергетических объектов [6, с. 358]. Значительные территории занимают нарушенные земли[3] и деградировавшие сельскохозяйственные угодья [24, с. 315].

С нормативной стороны подавляющая часть обследованных земель характеризуется допустимым уровнем загрязнения. По отношению загрязненных земель к общей площади муниципальных образований повышенной степенью суммарного загрязнения характеризуются Выборгский, Всеволожский и Подпорожский районы области, где установлены наиболее обширные участки слабого и среднего площадного загрязнения с массовым распространением локальных объектов ПЭУ [6, с. 234]. Сплошной ареал загрязненных почв окружает Санкт-Петербург, захватывая города Всеволожск, Кировск и Гатчину. Большинство районов области имеют слабую степень загрязнения.

По данным [24, с. 318], намечается постепенное распространение химического загрязнения почв региона соединениями тяжелых металлов и токсичной органикой. Начавшись в конце 80-х гг. XX в., в XXI в. «расползание» ареала загрязнения удвоилось. На территории Ленинградской обл. происходили масштабные эколого-экономические события, оставившие на ее землях многочисленные объекты ПЭУ [6, 24, 27].

Несмотря на это, сегодня загрязнение почвы тяжелыми металлами (ТМ) 1–3-го классов опасности отмечается только на локальных участках. Исключение составляют цинк и мышьяк, содержание которых в большей части проб превышает предельно допустимые концентрации (табл. 2), что показывает влияние объектов ПЭУ на уровень фоновых концентраций в природных геосистемах. Анализ пространственно-временных связей этих загрязнений устанавливает следующие ковариационные соответствия с функциональным использованием земель за последние 100 лет: интенсификация аграрного комплекса (As, Zn – форсированное внесение в почву средств защиты растений, органических и минеральных удобрений), развитие добывающего комплекса минеральных удобрений и транспортных сетей (Pb, Cd), фортификационные сооружения периода Великой Отечественной войны (соединения тяжелых металлов).

Таблица 2

Загрязнение проб тяжелыми металлами (*n* = 1321), по [6]

Элементы	Степень загрязнения		Элементы	Степень загрязнения	
	Число проб	Свыше 5–10 ОДК, %		Число проб	Свыше 5–10 ОДК, %
Pb	249	31	Cd	140	18
As	431	54	Zn	501	63

Предварительные выводы по обращению с проявлениями накопленного ущерба на территории геосистем частного бассейна Финского залива [9, 10] сделаны в процессе анализа разнообразных форм воздействия ПЭУ. Установлено, что специфической («диффузной») формой ПЭУ является эколого-экономический ущерб землям сельскохозяйственного назначения [6, 10, 14]. Появление объектов ПЭУ вблизи сельскохозяйственных земель символизирует развитие опасных для агропродукции уровней загрязнения метилированной ртутью и требует их контроля. Это новое явление антропогенного воздействия обусловливает необходимость обоснования практических мер борьбы с данной формой вторичного загрязнения агроценозов.

[3] Нарушение земель представляет собой механическое разрушение почвенного покрова и обусловлено открытыми или закрытыми разработками полезных ископаемых и торфа, строительными и геологоразведочными работами и др.

Существенными факторами деградации сельскохозяйственных угодий являются агроистощение и неконтролируемая водная эрозия, возникающие в связи с многочисленными ОПЭУ, где формируются азональные миграционные циклы. На заброшенных землях реализуется восстановительная сукцессия рудеральными фитосообществами. Суть реабилитации почв в антропогенно нарушенных ландшафтах заключается в восстановлении экологического баланса выведенных из равновесия геосистем. Самостоятельной научной проблемой является развитие городских почв в урбанизированных ландшафтах, вмещающих объекты ПЭУ.

Сравнительная характеристика муниципальных районов и городских муниципальных образований региона, отражающая плотность распространения объектов ПЭУ наиболее типичного генезиса, была получена по результатам геоэкологического мониторинга, традиционно ориентированного на выявление деградации и загрязнения земельных и почвенных ресурсов региона в сети мониторинговых площадок, выбранных на фоновых участках по эколого-географическому принципу – на разных звеньях ландшафтной катены [30, с. 8].

Агроземы широко представлены на границах селитебных территорий, поэтому почвы этого отдела преобладают среди мониторинговых площадок. На основании анализа данных обобщены варианты наиболее вероятного движения и поведения загрязняющих веществ в почвенном профиле каждой ключевой площадки. Большинство измеренных величин pH вод соответствуют величинам для плодородного слоя почвы, но много и случаев несоответствия – во Всеволожском, Выборгском, Лодейнопольском, Тихвинском и Тосненском муниципальных образованиях. По содержанию гумуса до глубины 20 см почвы большинства исследуемых участков характеризовались уровнем выше «низкого» (1,2–19,1 %). Степень загрязнения почв нефтепродуктами по всем исследуемым муниципальным районам – низкая (кратность к ПДК: 0,005–0,19), бензапиреном – 0,25–29,5.

В составе исследований авторы исходили из следующих положений. Объект ПЭУ представлен техногенно измененными частями геосистемы, характеризующимися такими отклонениями состава и структуры, компоненты которой утратили нормативные показатели качества, что препятствует использованию этих объектов по целевому назначению. По мере хозяйственного использования природная система трансформируется в техногенную геосистему, обладающую специфическими особенностями состава и строения[4].

Обобщенные данные об экогеохимических параметрах[5] техногенных систем приведены в табл. 3.

Индивидуализация геохимических спектров выражается их элементными префиксами (Sn, Ag, Cd, Co, Mn), характерными для накопителей твердых отходов. В остальных категориях почвогрунты более гомогенны. Результаты выполненного опробования и оценки экологических рисков деградации изученных земельных массивов, обладающие во многих случаях двух-трехкратной повторностью, показывают, что основу загрязняющих веществ в объектах ПЭУ составляют преимущественно элементы 2-го и 3-го классов опасности.

Ясно, что эти вещества, накапливаясь в субфоновых концентрациях, не в состоянии изменить зональные характеристики почвогрунтов, однако они формируют их местные разновидности, например *редкометалльные дерново-подзолистые (Sn, Ag), асболановые дерново-карбонатные (Mn, Co)* и др.

[4] Приказ Росприроднадзора от 25.04.2012 № 193 «Об утверждении Методических рекомендаций по проведению инвентаризации объектов накопленного экологического ущерба»: «Объектом ПЭУ является геосистема, имеющая с поверхности площадь не менее 5 га (оконтуренная по данным лабораторных исследований не менее 5 групповых проб)».

[5] Приказ Минприроды России от 08.07.2010 № 238 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды». Использование формулы геохимического спектра при оценке объекта ПЭУ и расчете экологического ущерба.

Таблица 3

Сумма $K_{накопл}$ загрязняющих веществ (компонентов ПЭУ) в верхнем горизонте почвогрунтов, подстилающих накопленные образования некоторых категорий объектов ПЭУ на территории Ленинградской обл., по [6]

Категория объекта ПЭУ и его геохимический спектр $K_{накопл}$ каждого компонента к фону	Возраст накопления, лет	Площадь, га	Уровень накопления (сумма $K_н$)		Кол-во изученных ОПЭУ
			ТМ/ТМ-1	Органика	
Свалки ТБО	20,1	2–10	127/66	3,9	68
$SnAg_{10}$ – ТМ-1_5 – ТМ-$2_{2,5}$ – ТМ-$3_{1,2}$ – $BPyr_2$ – $PCB_{0,3}$ – $Oil_{0,05}$ – $Pest_{0,01}$					
Несанкционированные свалки	5–20	0,5–4,0	123/80	2,5	98
$ZnCd_{30}Mn_{14}$ – ТМ-1_8 – ТМ-2_3 – ТМ-$3_{1,5}$ – $BPyr_2$ – $PCB_{0,3}$ – $Oil_{0,06}$					
Рекультивированные карьеры стройматериалов	20–35	12–28	43/20	3,5	32
Mn_{10} – ТМ-1_6 – ТМ-2_3 – ТМ-$3_{1,5}$ – $Oil_{1,8}$					
Иловые площадки	30–40	До 150	130/54	2,8	122
ТМ-1_{20} – ТМ-2_{10} – ТМ-3_3 – $PCB_{2,5}$ – $Oil_{0,03}$ – $Pest_{0,01}$					
Закрытые навозохранилища	8–13	2	24/0	2,04	29
ТМ-2_5 – ТМ-3_2 – $BPyr_2$ – $Oil_{0,04}$					
Карьеры, рекультивированные мусором	20–35	5–8	43/20	3,5	8
ТМ-1_4 – ТМ-2_2 – ТМ-$3_{1,3}$ – $BPyr_{0,2-2}$ – $PCB_{0,3-2,5}$ – $Oil_{0,03-0,06}$ – $Pest_{0,01}$					

Примечание: ТМ-1 – тяжелые металлы 1-го класса опасности; ТМ-2 – то же, 2-го класса; ТМ-3 – то же, 3-го класса; BPyr – бензапирен; PCB – полихлорированные бифенилы; Oil – нефтепродукты; Pest – пестициды.

Границы таких техногенных геосистем не совпадают с контурами кадастровых участков и устанавливаются по санитарно-экологическим значениям концентраций загрязняющих субстанций в компонентах среды, отнесенных к уровню уязвимости ПХС и их депонирующим свойствам с учетом зонального типа биогеохимических процессов в местных почвах. Эти обстоятельства предопределяют использование для оценок ПЭУ данных крупномасштабных экогеохимических съемок (0,4–4,0 пробы/га). Последнее не означает требования повсеместного их проведения (нецелесообразно отбирать сотни тысяч проб в каждом районе). Выбор участков картографирования сводится к зоне информативности соответствующей площадки фонового мониторинга, обладающей величиной $K_н$ зрелого объекта (например, города Волхов, Выборг и Сланцы [24, с. 23]).

Объекты ПЭУ отчетливо структурируются по размерам загрязнений и нарушений: от трансграничных территорий экологического бедствия, имеющих глобально-национальный масштаб, до площадей крупных регионов (в соответствии с отраслевой и ресурсной спецификой), затем следуют промышленные и транспортные кластеры, урбанизированные агломерации и, наконец, повсеместно распространенные мелкие проявления ПЭУ, представленные в основном элементами систем обращения с отходами.

Первоочередной задачей алгоритма оценки любых объектов ПЭУ является достоверное оконтуривание техногенного ландшафта с установлением специфических для каждого типа ПЭУ эколого-экономических воздействий [31, с. 18] в пределах ареалов функционирования ПХС.

Оценка ущерба и потери ценности земель в зависимости от целей (компенсация или реабилитация) выполняется различно [5, с. 120]. В первом случае ущерб равен произведению превышения концентрации на площадь кадастрового участка и на таксу. Недостатки: несколько экосистем в кадастровом участке или изменения фоновых содержаний в автономных и подчиненных геохимических ландшафтах. Для реабилитационных целей ущерб определяется как произведение превышения на площадь нарушения и на таксу. Он имеет составной вид (превышение в пределах каждой экосистемы считается раздельно).

Принятое в настоящее время определение ПЭУ сводится к экономическому содержанию (расчет компенсационных затрат), что не отражает всех его геоэкологических характеристик [29, с. 33]. Тем самым создается барьер между «экологическим» и «экономическим» подходами, утрачивается синергетический эффект рационального природопользования. При обследовании объектов ПЭУ важно правильно определить площадь исследований в пределах кадастровых границ земельного участка. Состояние почвенно-растительного покрова оценивается в контуре зоны воздействия предприятия по данным расчета рассеивания примесей, выбрасываемых предприятием в атмосферный воздух. Зона воздействия предприятия (объекта) на территорию определяется изолинией концентрации примесей в приземном слое атмосферы на уровне 0,05 $ПДК_{мр}$. Безусловно, объективными границами объектов НЭВ являются антропогенные геохимические поля, формирующиеся в связи с деятельностью этих объектов, а признаками таких полей должны быть непараметрические показатели[6].

Экономические вопросы ликвидации накопленного экологического ущерба и восстановления деградированных земель в настоящее время решаются доходным, затратным и сравнительным (учет рынка) методами оценки кадастровых или ландшафтных (экосистемных) участков [5, с. 120]. Область применимости этих методов определяется целью восстановительных работ при формулировке инвестиционных проектов по борьбе с ветровой и водной эрозией, рекультивацией нарушенных земель, деградацией пастбищ в зоне интенсивного земледелия и оленьих пастбищ, ликвидации заболачивания, подтопления земель, вторичного засоления. Ликвидация процессов деградации земель выполняется на основе анализа в бизнес-плане оттоков и притоков реальных денег, что обосновывает экономическую целесообразность проведения этих работ в каждом конкретном случае. Инвестиционные землеустроительные проекты по ликвидации деградированных земель являются важной частью комплекса реабилитационных мероприятий (работ). Влияние ОПЭУ отражается на величине компенсационных затрат на экологическую реабилитацию.

Существенной сложностью является «двойственная» природа ОПЭУ. Данный элемент цикла природно-хозяйственной системы одновременно представляет собой часть механизма эколого-экономического управления параметрами экологической безопасности административной территории, и поэтому рациональное природопользование в этих условиях часто развивается при конфликте интересов аграрного и горнопромышленного комплексов.

Показательным примером служит ситуация в Новохоперском районе Воронежской обл., где в 15 км от Хоперского государственного биосферного заповедника запланировано строительство нескольких рудодобывающих шахт, обогатительного комбината, производящего медно-никелевый концентрат, хранилища отходов горного производства, водохранилища, складов готовой продукции, грузового железнодорожного терминала. Эти инвестиции призваны заместить традиционные уклады хозяйствования в регионе, где годовой

[6] Непараметрические показатели не зависят от размеров оцениваемых объектов и территорий, например медиана, в отличие от среднеарифметического. Кроме того, медиана – устойчивая робастная оценка (даже в присутствии до 75 % проб с аномальными значениями).

оборот сельскохозяйственной продукции превышает 300 млн долл/год, а еланский чернозем экспонировался как эталон на Всемирной выставке достижений техники и науки в 1889 г. [32, с. 12].

Еланское месторождение, известное с 60-х гг. XX в., не планировалось к разработке в силу агропромышленного профиля региона, сложности залегания полезных ископаемых и близости природоохранных объектов [33, с. 240]. При реализации проекта качество традиционной продукции на этой части Воронежской обл. значительно снизится. Пострадают десятки сельхозпредприятий, оказавшихся в зоне промышленного загрязнения.

Роль перечисленных в табл. 1 понятий в обеспечении рационального природопользования неравнозначна. Конкретными элементами управления охраной природы, где возможно устранение экологического ущерба/вреда, являются измененные части земельных участков или исходной геосистемы, ограниченные физическими, агрохимическими или экогеохимическими контурами загрязнений и нарушений, т. е. ОНЭУ и ОПЭУ в использованной выше нотации. Очевидно, что такие объекты возникают стихийно, как и несанкционированные скопления отходов, часто не имея установленного виновника или собственника.

На региональном уровне (рис. 1) плотность их может достигать 7 объектов на 1 км^2 [6, с. 362; 24, с. 401], на муниципальном – до 5–10 объектов для поселений первого уровня. Таким образом, по экспертным оценкам, количество ОПЭУ, например, в Ленинградской обл. может составлять 30–50 тыс., включая несанкционированные свалки бытовых отходов.

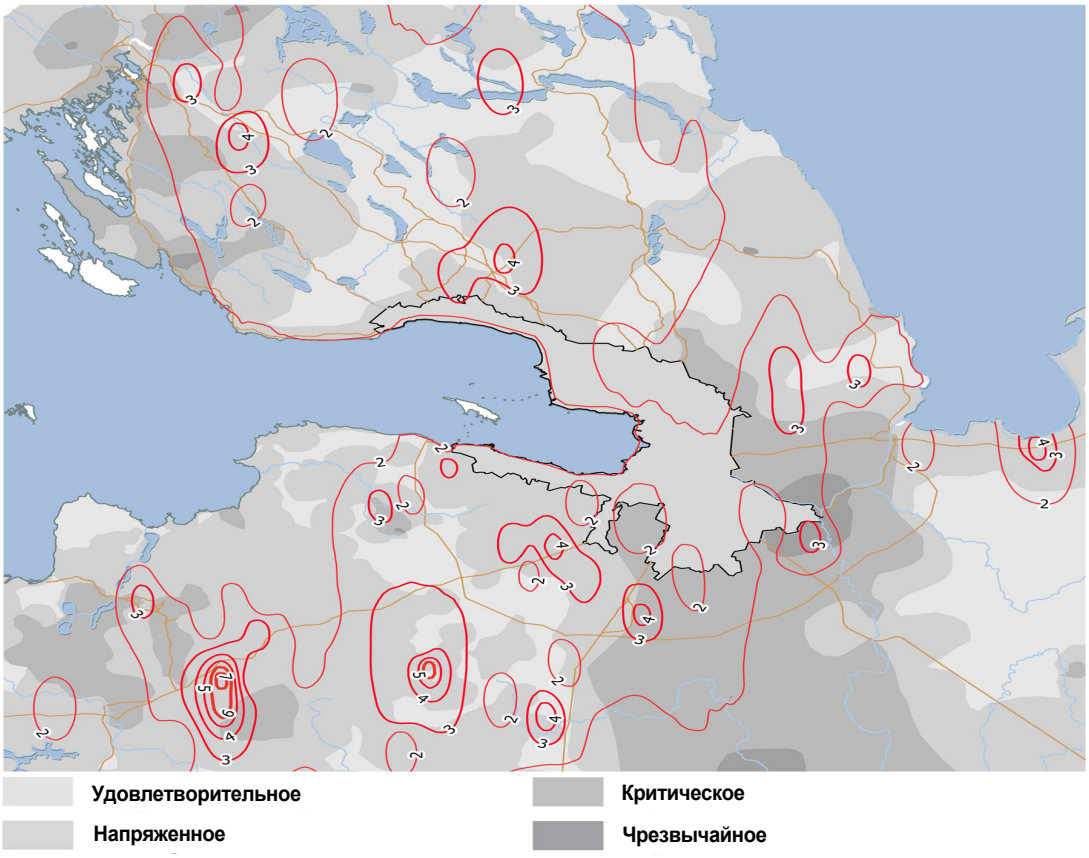

Рис. 1. Качество почвогрунтов по Z_c (ухудшается с густотой заливки) и плотность ОПЭУ (изолинии) для центра Санкт-Петербургской агломерации по состоянию на 01.01.2019 (данные авторов)

Очевидно, что уровень накопленного экологического ущерба в стране не исчерпывается каталогом «горячих точек». Применительно к ОПЭУ риски и угрозы НЭУ еще не идентичны последним, но уже несут в себе возможности локального возникновения потенциальных источников вторичного загрязнения.

Затраты на ликвидацию вреда окружающей среде, устранение негативных последствий, минимизацию угроз в экологических «горячих точках» выливаются в огромные суммы [13, 15]. Чтобы оценить затраты и объемы работ по всем 340 «горячим точкам» страны, необходимо подготовить проект по каждой из точек и утвердить программу «общей уборки» страны. Такие многомиллиардные затраты могут окупиться через 20–30 лет. В то же время подключение муниципальных ресурсов к ликвидации ОПЭУ может ускорить процессы экологической реновации.

Земельные ресурсы, независимо от их функционального использования, в общем случае имеют следующий жизненный цикл (рис. 2).

Рис. 2. Схема эволюции жизненного цикла использования земельных ресурсов (составил В.М. Питулько по материалам [6])

Заложенная в пределах исходного земельного массива любая ПХС в период ее эксплуатации производит нарушение и загрязнение земельного отвода и сопредельных водных ресурсов. В результате сбросов и выбросов загрязняющих веществ, а также при обращении потоков отходов происходит формирование проявлений накопленного экологического ущерба в санитарно-защитной зоне хозяйственного объекта и на прилегающих площадях. Рекомендации по сдерживанию этих процессов формируются при использовании современных версий имитационных моделей влияния ПЭУ, основанных на фундаментальных иссле-

дованиях физических, физико-химических и биохимических процессов в биосфере (по аналогии с появившимися в начале XXI в. новыми версиями моделей «почва – растения» Pestins [28, с.70]), а в местах, где нанесенный экологический вред становится препятствием для деятельности ПХС и угрожает здоровью людей, возникает необходимость экологической реабилитации территорий, завершающейся после вывода ПХС из оборота рекультивацией земельного отвода.

В данном случае ПХС предстает как бы первой ступенью формирования ОПЭУ при взаимодействии процессов производства и потребления. В парагенетической связи с рекультивированной ПХС, к примеру в границах земельного отвода, всегда остается ряд особых техногенных геосистем в виде ОПЭУ, обращение с которыми возможно либо путем изменения функционального использования сопряженных земельных участков, либо путем ликвидации экологического дискомфорта (адаптивно-ландшафтная система земледелия, ресурсосберегающие технологии и органическое земледелие) [34, с. 46].

Теоретически экосистема может постепенно восстанавливаться от возмущения со скоростью, пропорциональной той степени, в которой возмущения уменьшились. В этом случае восстановление потребует столетий, если не тысячелетий, учитывая масштабы текущих воздействий. Кроме того, экосистемы могут достичь критического порога и перейти в альтернативное состояние.

Зачастую нанесенный природе вред можно компенсировать за гораздо меньший срок, чем считалось ранее [22, с. 517]. После снятия антропогенной нагрузки эффективность реабилитации нарушенных земель процессами самовосстановления неизбежно возрастает, после разрешения экологических кризисов активизируется аборигенная биота.

Основные выводы

Проведенный анализ объектов исследований приводит к ряду методологических следствий.

1. Пространственно-временные закономерности возникновения объектов ПЭУ различного иерархического уровня целесообразно изучать в составе водохозяйственных экорегионов методом одноаспектного картирования (ведущие компоненты: устойчивость, уязвимость, оценка компенсационных затрат, гидроэкологические параметры воздействия). Такой комплекс данных создает научное обеспечение решения задач пространственного прогнозирования, предупреждения и минимизации экологического ущерба и связанных с ними проявлений чрезвычайных экологических ситуаций.

2. Применение модели оценки рисков развития специфической микрофлоры на объектах ПЭУ в условиях длительного цикла почвенной резистентности позволяет формулировать эффективные решения по стимулированию самовосстановления зональных геосистем, в том числе по обезвреживанию гетерогенных отходов систем водоотведения от тяжелых металлов.

3. При крупномасштабном картировании геосистем с накопленным экологическим ущербом требуется адаптация геоинформационных технологий в рамках моделей многовариантного пространственного анализа.

Заключение

Минимизация угроз человеческой жизни и негативных социально-экономических последствий в зоне влияния ОПЭУ, несомненно, требует адекватной политики на всех уровнях управления. Задача минимизации экологических рисков, обеспечивающих устойчивое развитие общества и рациональное природопользование, решается не только на мировых форумах и на государственном уровне, но и каждым субъектом РФ и даже каждым муниципальным поселением. Объекты ПЭУ, находящиеся в территориальных границах конкретного субъекта, доступны любому органу местного самоуправления (свалки отходов, скопления мусора, потенциально опасные для людей производства, загрязнение воздуха, почвы и воды) и, таким образом, вполне могут быть ими контролируемы. В качестве дополнительных критериев можно использовать данные о состоянии водоисточников питьевого назначения и критерии оценки деградации наземных экосистем, в первую очередь касающиеся степени

нарушенности территорий и наличия зон развития опасных геологических (экзогенных) процессов.

Очевидно, что сотни тысяч объектов ПЭУ, накопленных на территории РФ, невозможно ликвидировать в обозримое время только при реализации федеральных целевых программ. Поэтому настойчивые усилия по ликвидации (или функциональному перепрофилированию объектов ПЭУ при муниципальном природопользовании) в конечном счете приведут к постепенному сокращению экологического дискомфорта. Ужесточение норм проектирования и эксплуатации имеет тот же вектор.

Примененные методологические принципы и складывающаяся концепция превентивного предотвращения образования объектов прошлого экологического ущерба в природно-хозяйственных регионах показывают, что с их помощью могут быть разработаны типовой состав и содержание мероприятий по ликвидации экологического вреда от прошлой хозяйственной деятельности и его реабилитации для ОПЭУ наиболее массового уровня – в пределах муниципальных образований.

Экономический эффект обеспечивается за счет увеличения рыночной стоимости деградированных земель после их реабилитации. Экологический эффект заключается в восстановлении природного потенциала почв и агроландшафтов.

Кроме компенсации вреда, необходимо предусмотреть санкции за допущенный ПЭУ, обеспечить аккумуляцию средств в специализированных фондах, аудирование и страхование земельных ресурсов, а также их перераспределение в пользу наиболее эффективно и рационально хозяйствующих субъектов.

Вклад в стратегию подлинно рационального природопользования авторы видят в разработке и осуществлении концепции превентивного предотвращения образования объектов прошлого экологического ущерба. Рекомендации авторов затрагивают не только компенсацию вреда, но и мотивацию по стимулированию ликвидации ОПЭУ.

Статья подготовлена в рамках исследования «Систематизация, идентификация и методы оценки объектов прошлого экологического ущерба в частном бассейне Финского залива», входящего в подраздел № 137 Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг., в части научной проблематики рационального природопользования в условиях прошлого накопленного экологического ущерба.

Список литературы

1. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и природопользование в России. М.: Финансы и статистика, 2011. 671 с.

2. Экологическое проектирование и экспертиза. Ростов н/Д.: Феникс, 2016. 471 с.

3. Лукьянчиков Н.Н., Потравный И.М. Экономика и организация природопользования. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2015. 687 с.

4. Прошлый (накопленный) экологический ущерб: проблемы и решения. Источники информации для поиска технологий ремедиации // Экологический вестник России. 2015. № 7. С. 41–48.

5. Пестриков В.С., Шубич М.П., Носов С.И. Экономическая эффективность ликвидации накопленного экологического ущерба и восстановления деградированных земель: монография / под ред. С.И. Носова. М.: Проспект, 2016. 208 с.

6. Питулько В.М., Кулибаба В.В. Реновация природных систем и ликвидация объектов накопленного экологического ущерба. М.: ИНФРА-М, 2017. 497 с.

7. Титова Г.Д. Концепция экологического долга: развитие и возможные направления применения на практике // Региональная экология. 2016. № 1 (43). С. 7–14.

8. Питулько В.М., Кулибаба В.В., Дрегуло А.М., Петухов В.В. Загрязнение тяжелыми металлами агроценозов от объектов прошлого экологического ущерба // Безопасность в техносфере. 2016. Т. 5. № 2. С. 18–24.

9. Питулько В.М., Иванова В.В., Кулибаба В.В. Экологическая безопасность морских природно-хозяйственных систем Российской Прибалтики. М.: ИНФРА-М, 316 с.

10. Прошлый экологический ущерб в Российской Федерации. Доклад Всемирного Банка. 2007. 49 с. URL: http://expert.gost.ru/EC/DOC/PECU.pdf (дата обращения: 13.06.2020).

11. Стратегия и проблемы устойчивого развития России в XXI веке / под ред. А.Г. Гранберга. М.: Экономика, 2002. 414 с.

12. Питулько В.М., Кулибаба В.В., Растоскуев В.В. Техногенные системы и экологический риск. М.: Изд. дом «Академия», 2013. 380 с.

13. Соловьянов А.А., Чернин С.Я. Ликвидация накопленного вреда окружающей среде в Российской Федерации. М.: Наука РАН, 2017. 456 с.

14. Minkina T.M. Ecological resistance of the soil-plant system to contamination by heavy metals // Journal of Geochemical Exploration, Phytoremediation of polluted soils, Vol. 123, December 2012. P. 33–40.

15. Beins K., Lester S. Superfund: polluters pay so children can play. 35th Anniversary. The Center for Health, Environment & Justice (CHEJ), 2015. 80 p.

16. Brownfields Road Map to Understanding Options for Site Investigation and Cleanup. Sixth Edition. EPA USA, 2018. 86 p.

17. DEFRA and Welsh Assembly Government, The Environmental Damage Regulations, Preventing and Remedying Environmental Damage, 2009. 10 p. URL: http://archive.DEFRA.gov.uk/environment/policy/liability/pdf/quick-guide-regs09.pdf (дата обращения: 13.06.2020).

18. Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR), Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, 4th Edition, 2007. Last update on the 30 Mar 2018 15:47:08-0500.

19. In Situ Treatment Technologies for Contaminated Soil: Engineering Forum Issue Paper, OSWER, EPA 542-F-06-013, 2006. 35 p.

20. Report, The Center for Health, Environment & Justice, 2015. URL: http://www.chej.org (дата обращения: 13.06.2020). Last update on the 13 Oct 2018 12:13:03-0500.

21. Soil Protection and Contaminated Sites Rehabilitation Policy, Canada, Report HÉBERT, Jocelyne, et Julie Bernard. 2013. Bilan sur la gestion des terrains contaminйs au 31 dйcembre 2010, 31 p.

22. Dobson A.P., Bradshaw A.D., Baker A.J.M. Hopes for the future: Restoration ecology and conservation biology // Science, 1997, 277: 515–522 p.

23. Jones H.P., Schmitz O.J. Rapid Recovery of Damaged Ecosystems // PLoS ONE, 2009, 4(5): e5653.

24. О состоянии окружающей среды в Ленинградской области / Комитет по природным ресурсам Ленинградской области. СПб., 2010. 429 с.; СПб., 2015. С. 271.

25. Воронюк Г.А., Питулько В.М., В.В. Кулибаба. Пространственно-временная изменчивость состава подземных вод на территории Ижорского плато // Региональная экология. 2015. № 6 (41). С. 67–79.

26. Новожилов К.В., Сухорученко Г.И., Семенова Н.Н., Врогарев С.А., Питулько В.М. Оценка экологической опасности пестицидов для агробиоценозов // Региональная экология. 2010. № 1–2 (28). С. 73–79.

27. Стратегическая программа действий по охране окружающей среды Арктической зоны Российской Федерации. М., 2009. URL: http://www.morskayakollegiya.ru/os/materialy_zaseda/20090707-135809-7472.doc (дата обращения: 13.06.2020).

28. Потравный И.М., Гассий В.В. Методология проектного управления ликвидацией накопленного экологического ущерба // Вестник РФФИ. Гуманитарные и общественные науки. 2017. № 2. С. 68–76.

29. Генгут И.Б. К вопросу о развитии понятийного аппарата экономики природопользования в контексте накопленного экологического ущерба // Горизонты экономики. 2015. № 1 (20). С. 31–34.

30. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов (ландшафтно-геохимические процессы). М., 2007. 350 с.

31. Практическое пособие по разработке раздела «Оценка воздействия на окружающую среду» при обосновании инвестиций в строительство предприятий и сооружений. М.: Центринвестпроект, 1998. 60 с.

32. Бойко П.С. Сульфидные медно-никелевые руды Еланского и Ёлкинского месторождений. Воронеж, 2014. 15 с.

33. Чернышов Н.М. Сульфидные медно-никелевые месторождения юго-востока Воронежского кристаллического массива (породы, руды, генетические особенности). Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 1971. 312 с.

34. Бессонова Е.А. Эколого-экономическая реабилитация нарушенных и деградированных сельскохозяйственных земель. Курск: Изд-во ООО «Планета», 2011. 240 с.

References

1. Protasov V.F. (2011) *Ekologiya, zdorov'e i prirodopol'zovanie v Rossii* [Ecology, health and nature management in Russia] *Finansy i statistika* [Finance and Statistics]. Moscow. P. 671.

2. *Ekologicheskoe proektirovanie i ekspertiza* (2016) [Environmental design and expert examination] *Feniks* [Phoenix]. Rostov-on-Don. P. 471.

3. Lukyanchikov N.N., Potravny I.M. (2015) *Ekonomika i organizatsiya prirodopol'zovaniya* [Economics and organization of environmental management] *YuNITI-DANA* [UNITI-DANA]. Moscow. P. 687.

4. *Proshlyy (nakoplennyy) ekologicheskiy ushcherb: problemy i resheniya. Istochniki informatsii dlya poiska tekhnologiy remediatsii* [Past (accumulated) environmental damage: problems and solutions (2015) Sources of information for searching for remediation technologies] *Ekologicheskiy vestnik Rossii* [Ecological Bulletin of Russia]. No. 7. P. 41–48.

5. Pestrikov V.S., Shubich M.P., Nosov S.I. (2016) *Ekonomicheskaya effektivnost' likvidatsii nakoplennogo ekologicheskogo ushcherba i vosstanovleniya degradirovannykh zemel': monografiya. Pod red. S.I. Nosova* [Prospekt Economic efficiency of elimination of accumulated environmental damage and restoration of degraded lands: monograph. Ed. S.I. Nosov]. Prospect. Moscow. P. 208.

6. Pitulko V.M., Kulibaba V.V. (2017) *Renovatsiya prirodnykh sistem i likvidatsiya ob"ektov nakoplennogo ekologicheskogo ushcherba* [Renovation of natural systems and elimination of objects of accumulated environmental damage] *INFRA-M* [INFRA-M]. Moscow. P. 497.

7. Titova G.D. (2016) *Kontseptsiya ekologicheskogo dolga: razvitie i vozmozhnye napravleniya primeneniya na praktike* [The concept of ecological debt: development and possible directions of application in practice] *Regional'naya ekologiya* [Regional ecology]. No. 1 (43). P. 7–14.

8. Pitulko V.M., Kulibaba V.V., Dregulo A.M., Petukhov V.V. (2016) *Zagryaznenie tyazhelymi metallami agrotsenozov ot ob"ektov proshlogo ekologicheskogo ushcherba* [Heavy metal contamination of agrocenoses from objects of past environmental damage] *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in the technosphere]. T. 5. No. 2. P. 18–24.

9. Pitulko V.M., Ivanova V.V., Kulibaba V.V. *Ekologicheskaya bezopasnost' morskikh prirodno-khozyaystvennykh sistem Rossiyskoy Pribaltiki* [Ecological safety of marine natural and economic systems of the Russian Baltic] *INFRA-M* [INFRA-M]. Moscow. P. 316.

10. *Proshlyy ekologicheskiy ushcherb v Rossiyskoy Federatsii. Doklad Vsemirnogo Banka* [Past environmental damage in the Russian Federation] (2007). World Bank Report. Available at: http://expert.gost.ru/EC/DOC/PECU.pdf (date of access: 13.06.2020).

11. *Strategiya i problemy ustoychivogo razvitiya Rossii v XXI veke. Pod red. A.G. Granberga* [Strategy and problems of sustainable development of Russia in the XXI century. Ed. A.G. Granberg] *Ekonomika* [Economics]. Moscow. P. 414.

12. Pitulko V.M., Kulibaba V.V., Rasoskuev V.V. (2013) *Tekhnogennye sistemy i ekologicheskiy risk* [Man-made systems and environmental risk] *Izd. dom «Akademiya»* [Ed. house «Academy»]. Moscow. P. 380.

13. Solovyanov A.A., Chernin S.Ya. (2017) *Likvidatsiya nakoplennogo vreda okruzhayushchey srede v Rossiyskoy Federatsii* [Elimination of accumulated environmental damage in the Russian Federation] *Nauka RAN* [Nauka RAS]. Moscow. P. 456.

14. Minkina T.M. (2012) Ecological resistance of the soil-plant system to contamination by heavy metals. Journal of Geochemical Exploration, Phytoremediation of polluted soils, Vol. 123, December. P. 33–40.

15. Beins K., Lester S. (2015) Superfund: polluters pay so children can play. 35th Anniversary. The Center for Health, Environment & Justice (CHEJ). 80 p.

16. Brownfields Road Map to Understanding Options for Site Investigation and Cleanup (2018) Sixth Edition. EPA USA. 86 p.

17. DEFRA and Welsh Assembly Government, The Environmental Damage Regulations, Preventing and Remedying Environmental Damage (2009). 10 p. Available at: http://archive.DEFRA.gov.uk/environment/policy/liability/pdf/quick-guide-regs09.pdf (date of access: 13.06.2020).

18. Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR), Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, 4th Edition, 2007. Last update on the 30 Mar 2018 15:47:08-0500.

19. In Situ Treatment Technologies for Contaminated Soil: Engineering Forum Issue Paper (2006). OSWER, EPA 542-F-06-013. 35 p.

20. Report, The Center for Health, Environment & Justice (2015). Available at: http://www.chej.org (date of access: 13.06.2020). Last update on the 13 Oct 2018 12:13:03-0500.

21. Soil Protection and Contaminated Sites Rehabilitation Policy, Canada, Report HÉBERT, Jocelyne, et Julie Bernard (2013). Bilan sur la gestion des terrains contaminйs au 31 décembre 2010, 31 p.

22. Dobson A.P., Bradshaw A.D., Baker A.J.M. (1997) Hopes for the future: Restoration ecology and conservation biology. Science. 277: 515–522 p.

23. Jones H.P., Schmitz O.J. Rapid Recovery of Damaged Ecosystems. PLoS ONE, 2009, 4(5): e5653.

24. *O sostoyanii okruzhayushchey sredy v Leningradskoy oblasti* (2010) [On the state of the environment in the Leningrad region] *Komitet po prirodnym resursam Leningradskoy oblasti* [Committee on natural resources of the Leningrad region]. St.Petersburg. P. 429.

25.Voronyuk G.A., Pitulko V.M., V.V. Kulibaba. (2015) *Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' sostava podzemnykh vod na territorii Izhorskogo plato* [Spatio-temporal variability of the composition of groundwater on the territory of the Izhora plateau] *Regional'naya ekologiya* [Regional ecology]. No. 6 (41). P. 67–79.

26 Novozhilov K.V., Sukhoruchenko G.I., Semenova N.N., Vrogarev S.A., Pitulko V.M. (2010) O*tsenka ekologicheskoy opasnosti pestitsidov dlya agrobiotsenozov* [Assessment of the ecological hazard of pesticides for agrobiocenoses] *Regional'naya ekologiya* [Regional ecology]. No. 1–2 (28). P. 73–79.

27. *Strategicheskaya programma deystviy po okhrane okruzhayushchey sredy Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii* [Strategic action program for environmental protection of the Arctic zone of the Russian Federation] (2009) Moscow. Available at: http://www.morskayakollegiya.ru/os/materialy_zaseda/20090707-135809-7472.doc (date of access: 13.06.2020).

28. Potravny IM, Gassiy V.V. (2017) *Metodologiya proektnogo upravleniya likvidatsiey nakoplennogo ekologicheskogo ushcherba* [Methodology of project management for elimination of accumulated environmental damage] *Vestnik RFFI. Gumanitarnye i obshchestvennye nauk* [RFBR Bulletin. Humanities and social sciences]. No. 2. P. 68–76.

29. Gengut I.B. (2015) *K voprosu o razvitii ponyatiynogo apparata ekonomiki prirodopol'zovaniya v kontekste nakoplennogo ekologicheskogo ushcherba* [On the development of the conceptual apparatus of nature management economics in the context of accumulated environmental damage] *Gorizonty ekonomiki* [Horizons of Economics]. No. 1 (20). P. 31–34.

30. Glazovskaya M.A. (2007) *Geokhimiya prirodnykh i tekhnogennykh landshaftov (landshaftno-geokhimi-cheskie protsessy)* [Geochemistry of natural and technogenic landscapes (landscape-geochemical processes)]. Moscow. P 350.

31. *Prakticheskoe posobie po razrabotke razdela «Otsenka vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu» pri obosnovanii investitsiy v stroitel'stvo predpriyatiy i sooruzheni* [Practical guide for the development of the section «Environmental Impact Assessment» when justifying investments in the construction of enterprises and structures (1998) *Tsentrinvestproekt* [Tsentrinvestproekt]. Moscow. P. 60.

32. Boyko P.S. (2014) *Sul'fidnye medno-nikelevye rudy Elanskogo i Elkinskogo mestorozhdeniy* [Sulphide copper-nickel ores of the Elansky and Yolkinsky deposits]. Voronezh. P. 15.

33. Chernyshov N.M. (1971) S*ul'fidnye medno-nikelevye mestorozhdeniya yugo-vostoka Voronezhskogo kristallicheskogo massiva (porody, rudy, geneticheskie osobennosti)* [Sulphide copper-nickel deposits in the southeast of the Voronezh crystalline array (massif) (rocks, ores, genetic characteristics)] *Izd-vo Voronezhskogo gos. un-ta* [Voronezh State University Publishing House]. Voronezh. P. 312.

34. Bessonova E.A. (2011) *Ekologo-ekonomicheskaya reabilitatsiya narushennykh i degradirovannykh sel'sko-khozyaystvennykh zemel'* [Ecological and economic rehabilitation of disturbed and degraded agricultural lands] *Izd-vo OOO «Planeta»* [Publishing house of LLC «Planet»]. Kursk. P. 240.