

## Геоэкология

DOI: 10.34828/UdSU.2023.50.88.005

УДК 502/504

*К.Г. Пугин, А.В. Елькин*

### ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ И ГЕОМАТЕРИАЛОВ ИЗ ПЛАСТИКОВ

**Аннотация.** Широкое использование пластиков для дренажных систем и геоматериалов требует разработки новых методик оценки их геоэкологической безопасности. Находясь в эксплуатации длительные сроки, пластики под действием агрессивных действий окружающей среды, внешнего физического и биологического воздействия подвергаются деструкции. Продукты распада пластиков, попадая непосредственно в педосферу, способны изменять ее жизнеобеспечивающую функцию. В статье предложено для оценки геоэкологической безопасности дренажных систем и геоматериалов из пластиков разработать и проанализировать структурно-функциональную организацию возникающей природно-техногенной системы с учетом воздействия факторов малой интенсивности, которые формируют значительное суммарное воздействие при длительном жизненном цикле и могут быть определяющими. Показано, что оценку безопасности необходимо проводить с учетом жизненного цикла природно-техногенной системы, времени эксплуатации конструкции из пластиков. При относительно коротком сроке эксплуатации природно-техногенной системы образование нового природно-техногенного элемента не происходит. Это позволяет при рекультивации территории не проводить глубокую очистку верхнего слоя почвы. Для определения этого периода необходимо проведение исследований, уточняющих характер изменения свойств педосферы при размещении в ней конкретных видов пластиков.

**Ключевые слова:** геоматериалы, пластик, природно-техногенная система, геоэкология, жизненный цикл, охрана среды, микропластик.

*Для цитирования:* Пугин К.Г., Елькин А.В. Оценка геоэкологической безопасности дренажных систем и геоматериалов из пластиков // Управление техносферой: электрон. журнал, 2023. Т.6. Вып. 4. URL: <https://technosphere-ing.ru> С. 536–553. DOI: 10.34828/UdSU.2023.50.88.005.

## Введение

Для устройства подземных коммуникаций, дренажных систем различного назначения, укрепления слабых грунтов при возведении зданий и строительства дорог в настоящее время в больших объемах используются геоматериалы из

пластиков. С помощью них производится армирование грунта, устройство дренажа и изоляционных каналов, а также систем фильтрации и защиты от абразивного влияния и ветровой эрозии. Пластики (полимерные материалы), из которых состоят дренажные системы и геоматериалы (ДСиГ), находясь в эксплуатации длительные сроки, подвергаются деструкции под действием агрессивных действий окружающей среды, внешнего физического и биологического воздействия. Продукты распада пластиков, попадая непосредственно в педосферу, имеют непосредственный контакт со средой обитания живых организмов и с самими живыми организмами, которые населяют педосферу. В публикациях ведущих научных центров, занимающихся обеспечением геоэкологической безопасности, отмечается, что продукты распада пластиков способны ухудшить жизнеобеспечивающие свойства среды обитания живых организмов [1-5]. При деструкции пластиков возможно механическое засорение микропластиком и химическое загрязнение грунта, водных объектов и атмосферного воздуха в первую очередь мономерами полимера, используемого для создания строительной и дренажной конструкции. При разложении полимеров выделяются парниковые газы, такие как метан, этилен, стирол, формальдегид, фенол, хлорпрен, уретан и др. [6-12]. Все нарастающие объемы использования полимеров в геосферных оболочках Земли могут создать синергетический негативный эффект, основанный на низкой способности пластиков безопасно ассимилироваться природной средой. Исследования отечественных и зарубежных ученых указывают, что долгосрочная эксплуатация конструкций из пластиковых материалов приводит к формированию загрязнения окружающей среды (ОС), тем самым геоматериалы из пластиков способны осуществить загрязнение педосферы и другие геосферные оболочки Земли опасными химическими соединениями [13-19].

### Основная часть

В 2022 году объём выпущенных в РФ геоматериалов составил более 630 миллионов квадратных метров различной плотностью от 100 до 300 гр/м<sup>2</sup>. Объемы выпуска основных видов пластиков, используемых для производства ДСиГ в РФ, показаны в таблице.

Таблица

Объемы выпуска основных видов пластиков с 2017 по 2019гг.

Вид пластика	Объем производства, тыс. т.		
	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Полимеры этилена	2046	2196	2357
Полимеры пропилена	1449	1458	1750
Полимеры винилхлорида	963	1020	1046
Полимеры стирола	537	552	552
Полимеры полиэтилентерефталата	540	550	570

Ежегодное увеличение использования пластиков в конструкциях ДСиГ увеличивают риски формирования техногенной нагрузки на ОС в последующие годы, когда закончится жизненный цикл ДСиГ.

Используемые в настоящее время методики по оценке опасности для ОС используемых материалов для строительных конструкций не в полной мере могут дать объективную характеристику их опасности. Согласно методическим указаниям МУ 2.1.674—97 у строительных материалов оцениваются санитарно-химические (как в моделируемых, так и в натуральных условиях); радиологические; санитарно-токсикологические, биоцидные свойства, продолжительность исследований до двух месяцев экспозиции. При биотестировании строительных материалов ФР.1.39.2007.03222 продолжительность экспозиции может составлять до четырех суток. Высокая начальная химическая устойчивость пластиков не позволяет оценить их риск для ОС по используемым методикам. Это обусловлено растянутыми во времени процессами взаимодействия

пластиков с окружающими средами и низкой химической активностью пластиков на начальном этапе их эксплуатации. Широкое использование полимерных материалов требует разработки новых методик оценки геоэкологической безопасности пластиковых материалов, используемых для геоматериалов, дренажных и других конструкций, долговременно размещаемых в грунте, воде и воздухе.

При долгосрочном размещении конструкций из пластиков в грунте они образуют природно-техногенную систему (ПТС), которая требует особого рассмотрения ввиду продолжительного времени ее существования и формирования воздействий, которые в данный момент не учитываются ввиду неявного их проявления. Не учитываются факторы малой интенсивности, которые формируются природной средой (рН, температура, окислительные процессы, формируемые биотой). Решить задачу возможно за счет оценки структурных связей ПТС, разработки инструментов управления функционирования ПТС и использования биопозитивных, ресурсосберегающих технологий при выборе материала для производства ДСиГ. Критерии выбора экологически безопасных материалов и технологий строительства должны опираться на анализ жизненного цикла ДСиГ.

В зависимости от назначения геоматериалы разделяются на типы: геосетка, геотекстиль, геомембраны, георешетки, геоматы. Гидродренажные системы используются для отвода от объектов строительства, осушения и мелиорации сельскохозяйственных земель. Ранее для их строительства использовали металл, цементобетон, асбест и керамику, а в настоящее время используют пластиковые материалы.

Геоматериалы, подземные коммуникации и дренажные системы в независимости от их назначения, исполнения, физико-механических свойств возможно объединить в одну группу по характеру формирования негативного воздействия на ОС. Данные конструкции изготавливаются из пластиков,

размещаются в верхних слоях педосферы или на ее поверхности. При своей эксплуатации ДСиГ имеют долгосрочный непосредственный контакт с водными объектами, почвой, подвергаются воздействию внешних физических, химических и биологических факторов. Продукты распада ДСиГ могут локально накапливаться в местах их размещения или мигрировать с грунтовыми или поверхностными водами.

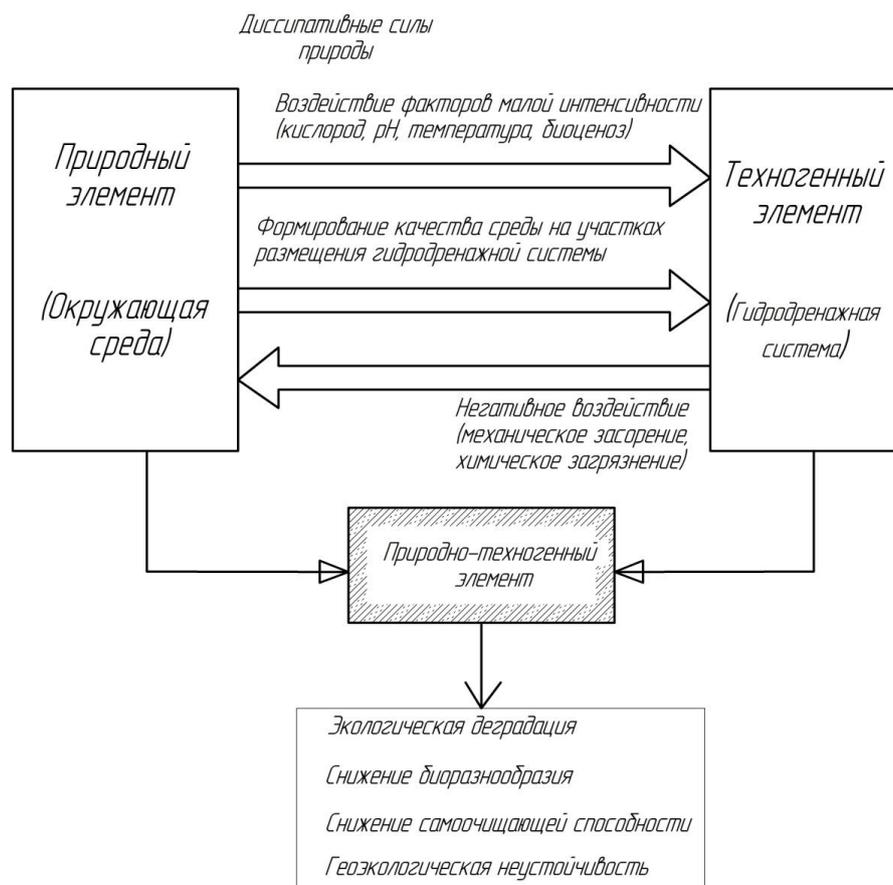
Располагаясь в верхнем слое педосферы ДСиГ, образуют открытую ПТС «ДСиГ-педосфера», в которой происходит взаимодействие ДСиГ и объектов ОС. Для оценки изменений, происходящих в природном и техногенном объектах ПТС, необходимо установить состав основных компонентов системы и определить их иерархические уровни, техногенно- и природнообусловленные воздействия, с учетом физико-химических и биохимических факторов малой интенсивности.

Составляя модель организации ПТС, необходимо выделить подсистемы, которые являются ведущими стейкхолдерами ПТС, обозначить их функциональное назначение и возможную реакцию на внешнее воздействие. Выделяя компоненты подсистем, определяют индивидуальные особенности формирования воздействия на сопредельную подсистему и возможность нейтрализовать воздействие от неё. Построение структурно-функциональной модели ПТС «педосфера-гидродренажная система» с использованием методов, изложенных в ГОСТ Р 57193-2016 «Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем» и международном стандарте ISO/IEC/IEEE 15288:2015 «Systems and software engineering - System life cycle processes», NEQ, не в полной мере отвечают современной теории оценки геоэкологической безопасности, не учитывают возможные сложности обеспечения геоэкологической безопасности на заключительном этапе жизненного цикла материала или системы в целом, на стадии рекультивации. Появление новых материалов требует разработки новых методических подходов, которые

позволяли бы учитывать характеристику конечной стадии жизненного цикла – вернуть в исходное состояние природную среду. Для анализа ПТС, в состав которой входят элементы ДСиГ из пластика, предлагается учитывать суммарное воздействие факторов малой интенсивности. Сюда необходимо отнести солнечную радиацию, биодеструкцию, химические особенности почвы (педосферы), температуру, которые могут сформировать опасное суммарное воздействие, позволяющее нарушить геоэкологическую устойчивость системы. Риск формирования техногенного воздействия ДСиГ на геосферы возрастает с увеличением сроков их эксплуатации. Это обусловлено накопительным эффектом воздействий малой интенсивности, которые в настоящее время недостаточно изучены и не учитываются. Пластики обладают высокой устойчивостью к воздействиям ОС, что формирует ложное представление об их безопасности для живых организмов.

Педосферу с размещенной в ней ДСиГ можно отнести к гетеротрофным антропогенным системам, состояние которых зависит от поступления энергии и изменения водного и кислородного баланса. Для них характерно развитие гетеротрофной сукцессии. В педосфере, благодаря содержанию в ней живых организмов, возможны процессы биологического и биохимического разложения, идущие с участием и без участия кислорода. Это формирует возможность биологического разрушения материала ДСиГ с образованием продуктов распада и изменением жизнеобеспечивающих функций педосферы.

Для анализа процессов, происходящих в системе «педосфера-ДСиГ», необходимо проанализировать функциональную организацию, создающейся при эксплуатации ДСиГ ПТС. Для примера ниже представлена структурно-функциональная модель ПТС «педосфера-гидродренажная система» рис. 1.



**Рис. 1 Структурно-функциональная организация ПТС «педосфера-гидродренажная система»**

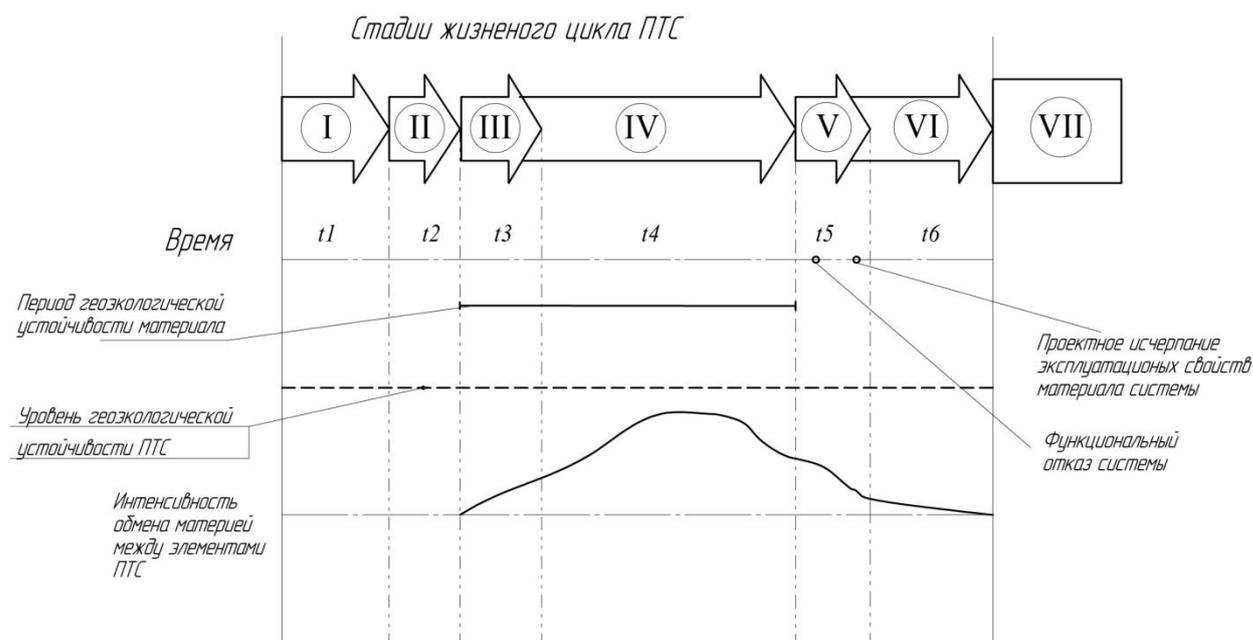
В предложенной модели взаимодействий между природным и техногенным элементом последний изменяет состояние природного элемента, внося в его структуру продукты своей деструкции, вызванные в том числе и силами природы. Со временем происходит образование нового природно-техногенного элемента. Скорость деградации элементов ПТС и продолжительность жизненного цикла (ЖЦ) определяют объем нового элемента. Это позволит оценить величину мер, обеспечивающих геоэкологическую устойчивость ПТС. Выделение природно-техногенного элемента отдельным блоком указывает на необходимость санации грунтового массива после окончания ЖЦ ДСиГ. Возможно, санация потребует значительных средств и

времени, что будет экономически не приемлемо для данного проекта. В частности, для строительства одного погонного метра четырехполосной автомобильной дороги может быть затрачено до 48 м<sup>2</sup> геоматериалов (вес от 4,8 до 28,8 кг пластика в зависимости от плотности), расположенных в разных слоях дорожной конструкции, которые в настоящее время нет технической возможности извлечь (для утилизации) при реконструкции дороги.

Периоды ЖЦ ПТС определяют интенсивность процессов, обеспечивающих обмен материей и энергией между элементами ПТС. Можно выделить пассивный и активный периоды. Первый характеризуется малыми потоками, на начальных и конечных стадиях ЖЦ. Длительность второго определяется условиями эксплуатации техногенного объекта, природно-климатическими условиями и рядом других факторов.

Долговечность структуры пластика и его способность переходить в природные структуры, не создавая локальных нарушений, необходимо учитывать при оценке ЖЦ ПТС. Если пластик не обладает такой способностью, то его использование с большой вероятностью будет формировать химическое загрязнение и засорение природного элемента. После завершения периода эксплуатации техногенный элемент потребуется удалить из системы, а среду, в которой он находился, подвергнуть санации.

Для наглядности и анализа процессов ПТС можно построить хронологию стадий жизненного цикла рассматриваемой ПТС «педосфера-ДСиГ», рис. 2.



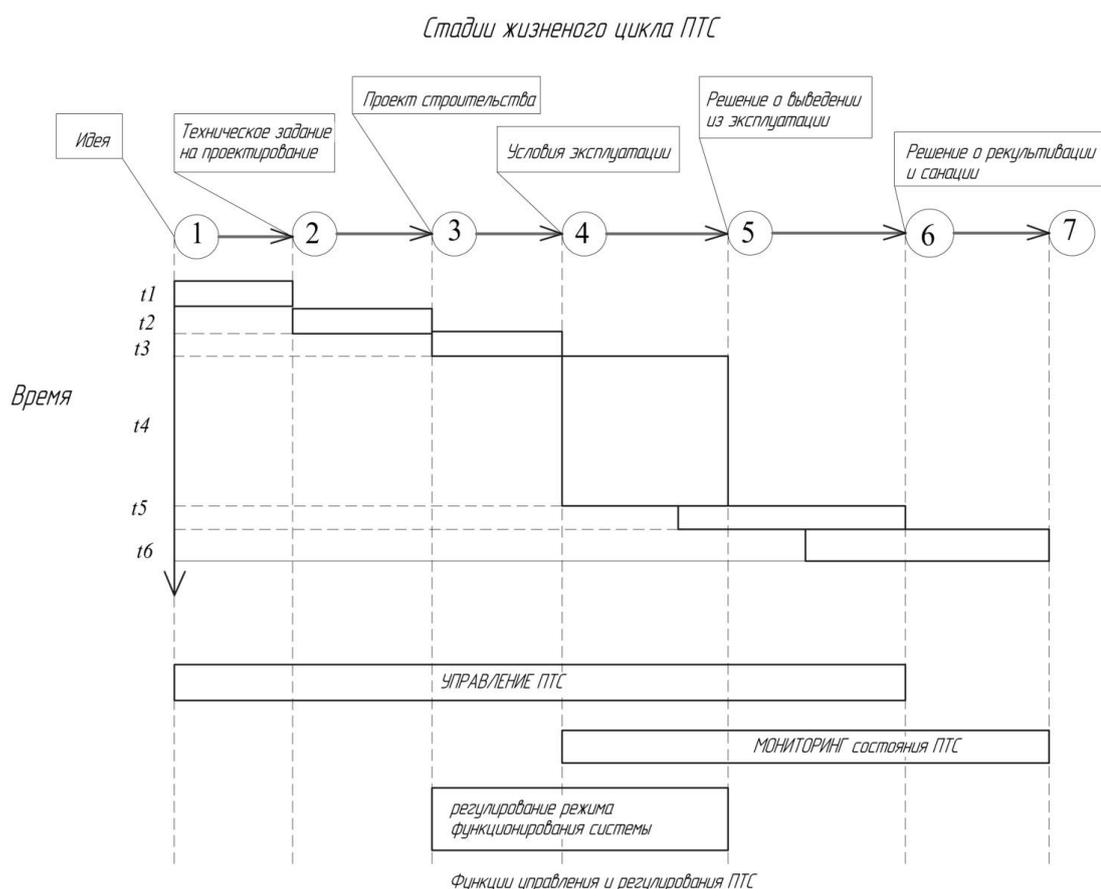
**Рис. 2** Жизненный цикл ПТС «педосфера-ДСиГ».

Примечание: стадии ЖЦ: I – «Концепция» II – «Проектирование»; III – «Строительство»; IV – «Эксплуатация», V – «Выведение из эксплуатации»; VI – «Рекультивация»; VII – «Образование новой ПТС».

Цель анализа стадий ЖЦ ПТС «педосфера-ДСиГ» – это определение условий обеспечения устойчивости ПТС за счет обеспечения минимального негативного воздействия техногенного элемента на ОС на протяжении всего ЖЦ ПТС. Стадии представляют собой основные периоды жизненного цикла.

Оценку материала для ДСиГ необходимо проводить согласно пространственно-временной модели ЖЦ ПТС. При коротком сроке эксплуатации ДСиГ из пластика, ввиду малой интенсивности обмена материей между элементами ПТС, новый природно-техногенный элемент (содержащий продукты деструкции пластика) не сформируется. Как следствие этого при рекультивации территории, на которой размещалась ПТС, не потребуются глубокой санации грунта. Для определения этого периода необходимо проведение исследований, уточняющих характер изменения свойств педосферы

при размещении в ней конкретных видов пластиков. Производители геоматериалов гарантируют физико-механические характеристики своих изделий на определенном сроке эксплуатации. Но эти данные могут лишь частично быть ориентирами в оценке геоэкологической устойчивости ДСиГ. Пример пространственно-временной модели ЖЦ ПТС представлен на рис. 3.



**Рис. 3. Пространственно-временная модель жизненного цикла ПТС**

Примечание: стадии ЖЦ: 1 – «Концепция» 2 – «Проектирование»; 3 – «Строительство»; 4 – «Эксплуатация», 5 – «Выведение из эксплуатации»; 6 – «Рекультивация»; 7 – «Образование новой ПТС».

При рассмотрении стадий ЖЦ ПТС необходимо опираться на научно-методологические основы сохранения жизнеобеспечивающих функций геосфер, на принципы охраны ОС, системный анализ ЖЦ ПТС. Необходимо учитывать

процессы саморегуляции природной среды с процессами техногенного воздействия.

Наиболее продолжительным в ЖЦ ПТС является стадия «Эксплуатация». Она характеризуется максимальным техногенным воздействием со стороны ДСиГ на природный элемент ПТС. Данный период должен быть завершён до достижения исчерпания долговечности материала конструкции и исчерпания функционального материала.

Период «Выведение из эксплуатации» и начало «Рекультивация» характеризуются тем, что при этом возможно кратковременное нарушение устойчивости ПТС ввиду проведения земляных работ и нарушения поверхностного слоя педосферы. Активно проходит ассимиляция, которая характеризуется такими процессами как минерализация органики, формирование природно-техногенного грунтового массива. Идёт разрушение техногенного элемента силами ОС (природным элементом), скорость разрушения нарастает с исчерпанием функциональной долговечности материала ДСиГ. При этом формируется новая открытая, не регулируемая ПТС.

### **Заключение**

Научный анализ жизненного цикла ПТС «педосфера-ДСиГ», в составе которой используется пластик, показал, что длительный период эксплуатации ДСиГ нарушает геоэкологическую устойчивость системы. Природная среда, в которой размещается пластик, способна создать условия для деструкции пластика на вторичный микропластик (частицы размером менее 1,6 мкм) и на выделение химических веществ, опасных для биоты из его состава. Накапливаясь в педосфере, опасные для ОС химические вещества подавляют развитие живых организмов, делая среду их обитания не пригодной для жизни. Для обеспечения геоэкологической устойчивости ПТС, в которой присутствует

пластик, необходимо разрабатывать мероприятия, направленные на санацию и реабилитацию грунта после завершения периода эксплуатации.

Для оценки геоэкологической безопасности дренажных систем и геоматериалов из пластиков необходимо разработать и проанализировать структурно-функциональную организацию возникающей ПТС, с учетом вида и технологии использования ДСиГ. Это позволит разработать меры обеспечения геоэкологической устойчивости ПТС с учетом воздействия факторов малой интенсивности, которые формируют значительное суммарное воздействие при длительном жизненном цикле и могут быть определяющими.

Оценку материала для ДСиГ необходимо проводить с учетом ЖЦ ПТС. При относительно коротком сроке эксплуатации ДСиГ не сформирует образование нового природно-техногенного элемента, имеющего в своем составе компоненты деструкции пластиков, как следствие этого при рекультивации не потребуются глубокой очистки грунта. Для определения этого периода необходимо проведение исследований, уточняющих характер изменения свойств педосферы при размещении в ней пластиков, с учетом объемов образования и характеристик микропластика, который в настоящее время не берется во внимание в качестве загрязняющего агента.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ugwu K., Herrera A., Gómez M. Microplastics in marine biota: A review. *Marine Pollution Bulletin*. 2021, vol. 169. 112540. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112540>.
2. Thushari G.G.N., Senevirathna J.D.M. Plastic pollution in the marine environment. *Heliyon*. 2020, vol. 6, no. 8. e04709. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04709>.
3. Микропластики в пищевой продукции: происхождение, свойства и возможные риски / И. В. Гмошинский, В. А. Шипелин, С. А. Хотимченко // *Медицина труда и экология человека*. 2022. № 2(30). С. 224 – 242.

4. Платонова Т. П., Пакурина А. П. Распространение микропластика в окружающей среде // *Естественные и технические науки*. 2023. № 6(181). С. 272 – 276.
5. Kleshchenkov A., Filatova T. Microplastic is a problem of planetary scale. *Science Almanac of Black Sea Region Countries*. 2019, no. 2(18), pp. 66 – 78.
6. Microplastics in fish gut, first records from the Tom River in West Siberia, Russia / Yu. A. Frank, E. D. Vorobiev, I. B. Babkina [et al.]. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2020. no. 52, pp. 130 – 139.
7. Пугин К.Г. Научные основы минимизации негативных воздействий на геосферу при использовании отходов производства в строительстве: автореф. дис. ... доктора техн. наук. Москва, Моск. гос. строит. ун-т., 2016. 44с.
8. Пугина В.К., Пугин К.Г. Геоэкологическая оценка использования полимерных отходов в производстве различных строительных материалов // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2021. № 1. С. 63–69.
9. On the assessment of microplastic distribution in the eastern part of the Gulf of Finland / S. D. Martyanov, V. A. Ryabchenko, A. A. Ershova [et al.]. *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2013, vol. 12, no. 4, pp. 32 – 41.
10. Микропластик как новый компонент в экосистеме нижней зоны дельты Волги / К. В. Литвинов, А. П. Калмыков, М. Г. Бирюкова // *Астраханский вестник экологического образования*. 2020. № 6(60). С. 147 – 152.
11. Суворова А. А. Методика количественного анализа содержания частиц микропластика в планктонных организмах // *Успехи в химии и химической технологии*. 2021. Т. 35. № 2(237). С. 10 – 11.
12. Филатов В.В., Рукина И.М., Голованов В.И. Рециклинг полимерных отходов производства и потребления на основе биотехнологических инноваций // *Муниципальная академия*. 2018. № 3. С. 135–142.
13. Потапова Е.В. Проблема утилизации пластиковых отходов // *Известия Байкальского государственного университета*. 2018. № 4. С. 535–544.
14. Микропластик в береговом грунте арктических и дальневосточных морей / Я. Ю. Блиновская, О. А. Куликова, Е. А. Мазлова, М. В. Гаврило // *Экология и промышленность России*. 2020. Т. 24, № 4. С. 16 – 19.
15. Исследование содержания частиц микропластика в воде, донных отложениях и грунтах прибрежной территории Невской губы Финского залива / Ш. Р. Поздняков, Е. В. Иванова, А. В. Гузева [и др.] // *Водные ресурсы*. 2020. Т. 47. № 4. С. 411 – 420.

16. Критериальная оценка состояния нарушенных геосистем / О.В. Тупицына, В.Г. Камбург, К.Л. Чертес, Д.Е. Быков // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. 2012. № 4. С. 231 – 241.
17. Левашова О.А., Суздалева А.Л. Термический техногенез почвенного покрова и его экологическая оптимизация. // Естественные и технические науки. 2018. №6 (120). С. 81 – 92.
18. Пугин К.Г., Салахова В.К., Елькин А.В. Оценка и обеспечение геоэкологической устойчивости гидродренажных систем // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2021. № 4. С. 21–28.
19. Суздалева А.Л., Смирнова А.М. Роль природно-технических систем в создании управляемой биотехносферы // Естественные и технические науки. 2016. №6(96). С.98 – 100.

Поступила в редакцию 21.08.2023

#### ***Сведения об авторах***

*Пугин Константин Георгиевич*

Доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова», 614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23. Россия.

Профессор, Пермский филиал ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», 614060, г. Пермь, Бульвар Гагарина, 33, Россия.

E-mail: [123zzz@rambler.ru](mailto:123zzz@rambler.ru)

*Елькин Александр Васильевич*

Аспирант кафедры охраны окружающей среды, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; E-mail: [alexandr.elkin.96@mail.ru](mailto:alexandr.elkin.96@mail.ru)

*K.G. Pugin, A.V. Elkin*

## ASSESSMENT OF GEOECOLOGICAL SAFETY OF DRAINAGE SYSTEMS AND GEOMATERIALS FROM PLASTICS

**Annotation.** The wide use of plastics for drainage systems and geomaterials requires the development of new methods for assessing their geo-ecological safety. Being in operation for long periods of time, plastics under the action of aggressive environmental effects, external physical and biological influence are subjected to destruction. Plastic degradation products, getting directly into the pedosphere, are able to change its life-supporting function. In the article it is offered to estimate geo-ecological safety of drainage systems and geomaterials made of plastics to develop and analyze structural-functional organization of the arising natural-technogenic system taking into account the impact of low intensity factors, which form a significant total impact during a long life cycle and can be determinant. It is shown that safety assessment should be carried out taking into account the life cycle of the natural-technogenic system and the time of operation of the plastic structure. At a relatively short life cycle of the natural-technogenic system the formation of a new natural-technogenic element does not occur. This allows not to carry out deep cleaning of the topsoil when recultivating the territory. To determine this period it is necessary to carry out researches specifying the character of changes in the pedosphere properties when specific types of plastics are placed in it.

**Keywords:** geomaterials, plastic, natural-technogenic system, geocology, life cycle, environmental protection, microplastic.

*For citation:* Pugin K.G, Elkin. A.V. [Assessment of geocological safety of drainage systems and geomaterials from plastics]. *Upravlenie tekhnosferoi*, 2023, vol. 6, issue 4. (In Russ.). Available at: <https://technosphere-ing.ru/> pp. 536–553. DOI: 10.34828/UdSU.2023.50.88.005.

## REFERENCES

1. Ugwu K, Herrera A., Gómez M. Microplastics in marine biota: A review, *Marine Pollution Bulletin*, 2021, vol. 169, 112540. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112540>.
2. Thushari G.G.N., Senevirathna J.D.M. Plastic pollution in the marine environment, *Heliyon*. 2020, vol. 6, no. 8. e04709. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04709>.
3. Gmoshinskii I. V., Shipelin V. A., Khotimchenko S. A. Mikroplastiki v pishchevoi produkcii: proiskhozhdenie, svoistva i vozmozhnye riski [Microplastics in food products: origin, properties and possible risks]. *Medsitina truda i ekologiya cheloveka [Occupational medicine and human ecology]*. 2022, no. 2(30), pp. 224 – 242. (In Russ.).
4. Platonova T.P., Pakusina A.P. Rasprostranenie mikroplastika v okruzhayushchei srede [The spread of microplastics in the environment]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Natural and technical Sciences]*. 2023, no. 6(181), pp. 272 – 276. (In Russ.).

5. Kleshchenkov A., Filatova T. Microplastic is a problem of planetary scale. *Science Almanac of Black Sea Region Countries*. 2019, no. 2(18), pp. 66 – 78. (In Russ.).
6. Frank Yu. A., Vorobiev E. D., Babkina I. B., et al. Microplastics in fish gut, first records from the Tom River in West Siberia, Russia [Microplastics in fish gut, first records from the Tom River in West Siberia, Russia]. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2020, no. 52, pp. 130 – 139.
7. Pugin K.G. *Nauchnye osnovy minimizatsii negativnykh vozdeistvii na geosferu pri ispol'zovanii otkhodov proizvodstva v stroitel'stve: avtoref. dis. ... doktora tekhn. nauk*. [Scientific foundations of minimizing negative impacts on the geosphere when using industrial waste in construction: abstract. dis. ... doctors of technical sciences]. Moscow, Mosk. gos. stroit. un-t., 2016, 44 p. (In Russ.).
8. Pugina V.K., Pugin K.G. Geoekologicheskaya otsenka ispol'zovaniya polimernykh otkhodov v proizvodstve razlichnykh stroitel'nykh materialov [Geoecological assessment of the use of polymer waste in the production of various building materials Transport]. *Transportnye sooruzheniya. Ekologiya [Transport. Transport facilities. Ecology]*. 2021, no. 1, pp. 63–69. (In Russ.).
9. Martyanov S. D., Ryabchenko V. A., Ershova A. A., et al. On the assessment of microplastic distribution in the eastern part of the Gulf of Finland, *Fundamental and Applied Hydrophysics* 2013, vol. 12, no. 4, pp. 32 – 41.
10. Litvinov K.V., Kalmykov A.P., Biryukova M.G. Mikroplastik kak novyi komponent v ekosisteme nizhnei zony del'ty Volgi [Microplastic as a new component in the ecosystem of the lower zone of the Volga delta]. *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya [Astrakhan Bulletin of Environmental Education]*. 2020, no. 6(60), pp. 147 – 152. (In Russ.).
11. Suvorova A. A. Metodika kolichestvennogo analiza sodержaniya chastits mikroplastika v planktonnykh organizmakh [Methodology of quantitative analysis of the content of microplastic particles in planktonic organisms]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii [Advances in chemistry and chemical technology]*. 2021, vol. 35, no. 2(237), pp. 10 – 11. (In Russ.).
12. Filatov V.V., Rukina I.M., Golovanov V.I. Retsikling polimernykh otkhodov proizvodstva i potrebleniya na osnove biotekhnologicheskikh innovatsii [Recycling of polymer waste of production and consumption based on biotechnological innovations]. *Munitsipal'naya akademiya [Municipal Academy]*. 2018, no. 3, pp. 135–142. (In Russ.).

13. Potapova E.V. Problema utilizatsii plastikovykh otkhodov [The problem of plastic waste disposal]. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta [Proceedings of the Baikal State University]*. 2018, no. 4, pp. 535–544. (In Russ.).
14. Blinovskaya Ya. Yu., Kulikova O. A., Mazlova E. A., Gavrilov M. V. Mikroplastik v beregovom grunte arkticheskikh i dal'nevostochnykh morei [Microplastics in the coastal soil of the Arctic and Far Eastern seas]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and industry of Russia]*. 2020, vol. 24, no. 4, pp. 16 – 19. (In Russ.).
15. Pozdnyakov Sh. R., Ivanova E.V., Guzeva A.V., et al. Issledovanie sodержaniya chastits mikroplastika v vode, donnykh otlozheniyakh i gruntakh pribrezhnoi territorii Nevskoi guby Finskogo zaliva [Investigation of the content of microplastic particles in water, bottom sediments and soils of the coastal territory of the Neva Bay of the Gulf of Finland]. *Vodnye resursy [Water resources]*. 2020, vol. 47, no. 4, pp. 411 – 420. (In Russ.).
16. Tupitsyna O.V., Kamburg V.G., Chertes K.L., Bykov D.E. Kriterial'naya otsenka sostoyaniya narushennykh geosistem [Criterion assessment of the state of disturbed geosystems]. *Neftegazovoe delo: elektronnyi nauchnyi zhurnal [Oil and gas business: electronic scientific journal]*. 2012, no. 4, pp. 231 – 241. (In Russ.).
17. Levashova O.A., Suzdaleva A.L. Termicheskii tekhnogenez pochvennogo pokrova i ego ekologicheskaya optimizatsiya [Thermal technogenesis of soil cover and its ecological optimization]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Natural and Technical Sciences]*. 2018, no.6 (120), pp. 81 – 92. (In Russ.).
18. Pugin K.G., Salakhova V.K., El'kin A.V. Otsenka i obespechenie geoekologicheskoi ustoichivosti gidrodrenaznykh sistem [Assessment and provision of geocological stability of hydraulic drainage systems]. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya [Transport. Transport facilities. Ecology]*. 2021, no. 4, pp. 21–28. (In Russ.).
19. Suzdaleva A.L., Smirnova A.M. Rol' prirodno-tekhnicheskikh sistem v sozdanii upravlyaemoi biotekhnosfery [The role of natural-technical systems in the creation of a controlled biotechnosphere]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Natural and technical sciences]*. 2016, no.6(96), pp. 98 – 100. (In Russ.).

Received 21.08.2023

***About the Authors****Konstantin Georgievich Pugin*

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Technologies, Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (23, Petropavlovskaya st., Perm, 614990, Russia); Professor of the Department of Specialties of Water Transport and Transport Management, Perm Branch of the Volga State University of Water Transport

E-mail: [123zzz@rambler.ru](mailto:123zzz@rambler.ru)

*Elkin Alexander Vasilievich*

Graduate student, Department of the environmental protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russia).

E-mail: [alexandr.elkin.96@mail.ru](mailto:alexandr.elkin.96@mail.ru)