



DOI: 10.19181/sntp.2026.8.1.5

EDN: OXQKYU

Научная статья

Research article

КООПЕРАТИВНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: ОПЫТ ДОБРОВОЛЬЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ¹



**Егерев
Сергей Викторович¹**

¹ Институт научной информации по общественным наукам РАН,
Москва, Россия

Для цитирования: Егерев С. В. Кооперативное зондирование окружающей среды: опыт добровольческих проектов // Управление наукой: теория и практика. 2026. Т. 8, № 1. С. 99–114. DOI 10.19181/sntp.2026.8.1.5. EDN OXQKYU.

Аннотация. В статье рассматривается кооперативное зондирование (*participatory sensing*, PS) как перспективная, но всё ещё недостаточно зрелая технология мониторинга окружающей среды, опирающаяся на принципы *citizen science* и использующая возможности добровольцев. PS предлагает альтернативу традиционным, зачастую дорогостоящим и трудоёмким, экологическим исследованиям, предоставляя возможность оперативно собирать данные в больших масштабах и с детализацией, недостижимой при классических подходах. В статье анализируются ключевые преимущества PS, такие как снижение затрат, увеличение пространственного покрытия и вовлечение граждан в научные исследования, а также выявляются основные вызовы, с которыми сталкиваются организаторы проектов при реализации PS-инициатив.

Особое внимание уделяется применению датчиков, встроенных в современные смартфоны, для сбора информации о различных экологических параметрах, включая шумовое загрязнение, концентрацию загрязняющих веществ в воздухе и уровень радиации. Подробно рассматривается задача рекрутирования и удержания добровольцев как критически важный фактор успеха PS-проектов. Обобщается накопленный опыт борьбы с потенциальным выгоранием и разочарованием участников, анализируются методы мотивации и поддержания вовлечённости.

Отдельный раздел посвящён вопросам безопасности данных и проблеме злонамеренных вбросов ложной информации, представляющей серьёзную угрозу для достоверности результатов PS. Описываются стратегии противодействия

¹ Статья частично подготовлена по материалам доклада «Биофоническая компонента звукового ландшафта в проектах гражданской науки» на Всероссийской научно-практической конференции «Звук в нашей жизни» (Москва, Институт психологии РАН, 30–31 октября 2025 г.).

фальсификации данных, основанные на комбинации алгоритмических и аппаратных средств. В качестве успешных примеров приводятся кейсы картирования городских шумов и создания детальных звуковых ландшафтов.

В заключительном разделе обсуждаются потенциальные социальные последствия широкого распространения PS, включая тенденцию джентрификации отдельных городских районов за счёт более простого выявления комфортных зон, а также затрагивается этическая проблема скрытого вовлечения пользователей смартфонов в проекты зондирования без их явного согласия.

Ключевые слова: управление проектами, рекрутинг добровольцев, пассивный акустический мониторинг (PAM), картирование шумов, биоразнообразие, валидация данных, сети смартфонов, гражданская наука

PARTICIPATORY ENVIRONMENTAL SENSING: EXPERIENCE OF VOLUNTEER PROJECTS

Sergey V. Egerev¹

¹ Institute of Scientific Information for Social Sciences of the RAS, Moscow, Russia

For citation: Egerev S. V. Participatory environmental sensing: Experience of volunteer projects. *Science Management: Theory and Practice*. 2026;8(1):99–114. (In Russ.). DOI 10.19181/sntp.2026.8.1.5.

Abstract. The article discusses participatory sensing (PS) as a promising but still immature environmental monitoring technology based on the principles of citizen science and utilizing the capabilities of volunteers. PS offers an alternative to traditional, often costly and labor-intensive environmental research, providing the ability to quickly collect data on a large scale and with a level of detail that is unattainable with classical approaches. The article analyzes the key advantages of PS, such as cost reduction, increased spatial coverage and citizen involvement in scientific research, and identifies the main challenges faced by project organizers in implementing PS initiatives.

Special attention is paid to the use of sensors built into modern smartphones to collect information on various environmental parameters, including noise pollution, air pollutant concentrations and radiation levels. The task of recruiting and retaining volunteers as a critical factor in the success of PS projects is examined in detail. The accumulated experience of combating potential burnout and disappointment among participants is summarized, and methods of motivation and maintaining engagement are analyzed. A separate section deals with data security issues and the problem of malicious false information, which poses a serious threat to the reliability of PS results. Strategies for countering data falsification based on a combination of algorithmic and hardware tools are described. Successful examples include cases of urban noise mapping and the creation of detailed soundscapes.

The concluding section discusses the potential social consequences of the widespread use of PS, including the trend of gentrification of certain urban areas due to the easier identification of comfortable zones, and touches on the ethical issue of the hidden involvement of smartphone users in sensing projects without their explicit consent.

Keywords: project management, volunteer recruitment, passive acoustic monitoring (PAM), noise mapping, biodiversity, data validation, smartphone networks, citizen science

ВВЕДЕНИЕ

Эффективной организационной формой исследований в области экологии сегодня признана наука граждан (гражданская наука, *citizen science*). Рост популярности науки граждан обусловлен возросшим уровнем научной грамотности населения, становлением культуры волонтерства и развитием информационно-коммуникационных технологий (что дало рождение т. н. «кибернауки» граждан). В свою очередь, одной из разновидностей кибернауки граждан является кооперативное зондирование (*participatory sensing*, PS) [1; 2]. Идея метода состоит в проведении распределённых исследований. Добровольцы измеряют различные параметры окружающей среды, решают задачи санитарной медицины, оценивают транспортные потоки, наносят на карту дефекты дорожного покрытия, свободные места на парковках и т. д. Для сведения потока краудсорсинговых данных в единый ресурс используются беспроводные мониторинговые сети, основанные на распределённой вычислительной архитектуре. Информация, таким образом, передаётся по цепочке «датчик устройства (смартфона) – приложение на устройстве – веб-платформа – дата-центр».

Успехам и вызовам кооперативного зондирования окружающей среды в последние 25 лет посвящены десятки публикаций. Из новых работ отметим следующие. Организации проектов, обработке данных, перспективам посвящены работы [3–7]. Факторы риска PS-проектов рассматриваются в [8]. В статье [9] отражены вопросы достижения социально устойчивых данных зондирования. В [10] рассматриваются технические вопросы построения мониторинговых сетей, а в [11] – особенности интеграции традиционных и новых технологий зондирования.

В недалёком прошлом такие мониторинговые сети строились на основе традиционных сенсорных узлов. Они собирали информацию локально, а затем передавали результаты измерений на удалённый статический приёмник. Переход от традиционного мониторинга к кооперативному зондированию придал этой технологии и новый импульс, и определённую специфику. К сильным сторонам кооперативного зондирования силами большого числа добровольцев относится, в частности, удешевление измерительных процессов и возможность более детального пространственного покрытия. Признаны и другие преимущества технологии: снижение затрат на зондирование и масштабируемость; широкомасштабный характер сбора данных; привлечение внимания сообщества и повышение осведомлённости; потенциал разнообразия мобильных устройств (используются уже не только смартфоны, но и планшеты, и даже фитнес-трекеры); гибкость интеграции с ИКТ-платформами.

Новая технология не сводится лишь к использованию собственных смартфонов добровольцев. Добровольцы сегодня имеют богатый арсенал средств измерения, передачи и обработки данных. Тем не менее, интерес к применению в проектах распределённых измерений именно смартфонов и их датчиков сегодня огромен (рис. 1).

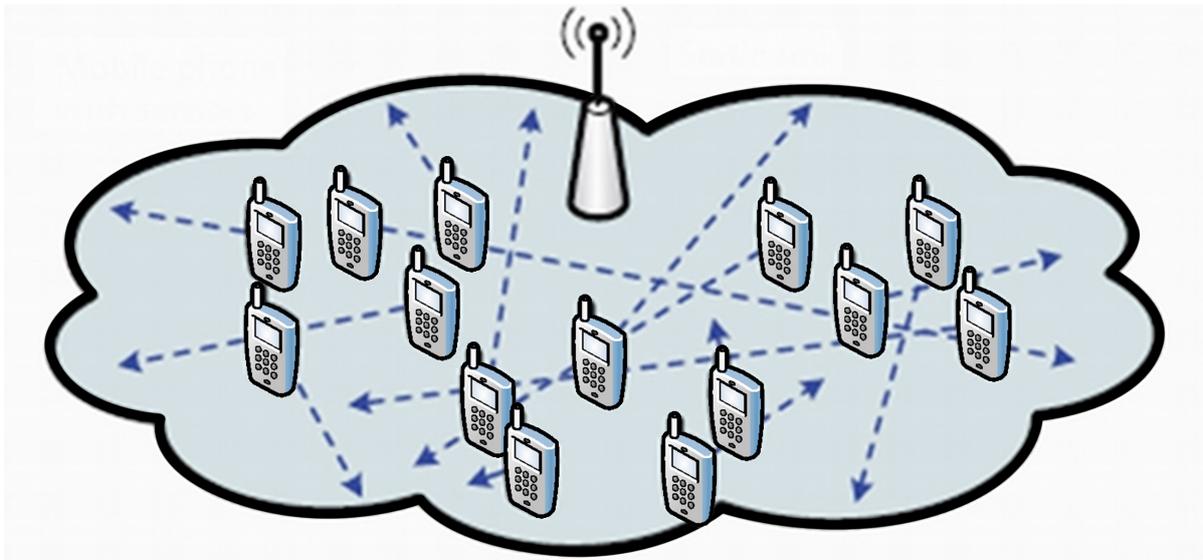


Рис. 1. Схема кооперативного зондирования с применением смартфонов добровольцев.

Источник: [12].

Fig. 1. Diagram of participatory sensing using volunteers' smartphones. Source: [12].

Действительно, данные можно собирать различными способами, однако смартфоны являются особым и, возможно, беспрецедентным инструментом для этой работы. Благодаря повсеместному распространению смартфонов и связанной с ними инфраструктуры появилась возможность охватить людей из всех слоёв общества на глобальном уровне для проведения устойчивых наблюдений.

К собственным датчикам смартфонов относятся: микрофон, акселерометр, гравиметр, компас, GPS-приёмник, магнитометр, барометр, датчик освещённости. В качестве внешних сменных устройств используются датчики УФ-излучения, пыли, влажности, температуры воздуха, радиоактивности и т. д. В последнее десятилетие возникли новые компании, поставляющие датчики для анализа окружающей среды. Соответственно, датчики, и в особенности недорогие, будут играть центральную роль в мониторинге окружающей среды и в будущем.

Таблица 1

Данные, собираемые добровольцами с использованием смартфонов и рекордеров

Table 1

Data collected by volunteers using smartphones and recorders

Категория	Параметры
Погода, климат	Температура, влажность, барометрическое давление, качество воздуха в помещении (IAQ), влажность почвы, температура почвы, скорость ветра, направление ветра, облачность, температура поверхности, количество осадков, индекс качества воздуха (AQI US).
Газы	Оксид углерода (CO), диоксид углерода (CO ₂), оксиды азота (NO _x), аммиак (NH ₃), озон (O ₃), диоксид серы (SO ₂), летучие органические соединения (ЛОС), сероводород (H ₂ S), запахи.
Вещество	Твёрдые частицы.
Звук	Уровень шума (дБ(A)), компоненты звукового ландшафта: геофония, биофония, антропофония.

Продолжение Таблицы 1 см. на стр. 103

Продолжение Таблицы 1

Категория	Параметры
Свет	Уровень освещённости, ультрафиолетовое излучение, количество часов солнечного света, видимость (в терминах расстояния).
Дорожное движение	Общее количество транспортных средств, количество автобусов, грузовиков, фургонов, легковых автомобилей, мотоциклов, велосипедов, количество пешеходов, вибрация, транспортный поток, свободные парковочные места.
Прочее	Измерения магнитного поля, субъективные восприятия.

Источники: частично использованы материалы [6; 13; 14].

Sources: data from [6; 13; 14] were partially used.

Таблица 1 указывает на большое разнообразие параметров, которые измерялись добровольцами, вооружёнными датчиками нового поколения. Соответственно, добровольческой науке оказались под силу мониторинг окружающей среды в широком спектре параметров; оценка транспортного воздействия; аудит систем и утилизации отходов; картирование источников аллергии; исследование инвазивных видов растений; изучение биофонии. Однако преимущества добровольческих проектов не сводятся только к датчикам. Следует обратить внимание и на уникальную возможность документирования субъективного восприятия окружающей среды. Такая возможность добавляет человеческий контекст к сухим данным. Измеренный уровень шума 70 дБ(А) – это просто число, предназначенное для экспертов узкого профиля. А вот комментарий добровольца – «Не могу спать с открытым окном из-за движения фур с 5:00 утра» – это уже история, которую чиновнику мэрии проигнорировать гораздо сложнее [6].

Обсуждаемая технология становится всё более актуальной, поскольку она позволяет отдельным лицам и сообществам использовать мобильные устройства и облачные сервисы для систематического сбора и анализа данных. Она может существенно повлиять на различные аспекты нашей повседневной жизни, поскольку граждане всё активнее используют смартфоны и социальные сети.

В статье обобщаются современные достижения и проблемы добровольческих проектов кооперативного зондирования окружающей среды.

ЗОНДИРОВАНИЕ: МЕНЕДЖМЕНТ И ВЫЗОВЫ

Кооперативный сбор данных – это использование мобильных устройств и облачных сервисов для систематического сбора информации отдельными лицами и сообществами в научных целях. Задачи добровольцев в рассматриваемых проектах варьируются от мобильной регистрации (или физического развёртывания аппаратуры в полевых условиях) до удалённой верификации и обработки больших массивов данных. Сегодня, когда эйфория первого знакомства с технологией поутихла, следует поблагодарить авторов работ, в которых честно описаны не только успехи проектов кооперативного зондирования, но и проблемы, с которыми эти проекты столкнулись [2; 15; 16].

К первой и, возможно, главной проблеме относятся не до конца разработанные процедуры рекрутинга и удержания добровольцев в проектах [17]. Участие в сборе данных является добровольным и сопряжено как с расходом ресурсов пользователя (личное время, заряд батареи, трафик, вычислительная

мощность), так и рисками для сохранения конфиденциальности. Проекты, игнорирующие мотивационные аспекты, добровольцев теряют. Их профессиональному выгоранию способствует и наличие в проекте повторяющихся или узкоспециализированных задач. Измерительная процедура на обширной территории часто приводит к социальной изоляции добровольцев, также снижая их мотивацию. Отпугивают их и технические сложности развёртывания оборудования, и слабое их знакомство с цифровыми платформами.

Низкая и неустойчивая вовлечённость участников – беда многих PS-проектов [13; 18; 19]. Проблемы имеют даже некоторые амбициозные высокобюджетные проекты, например, Air Quality Egg. Отмечалось, что большую часть всех данных участники загружают в первые несколько дней, после чего быстро теряют интерес [13]. Причины были комплексными: технология оказалась ненадёжной, датчики требовали сложной калибровки, а сообщество не получило достаточной поддержки и не увидело, каким образом их усилия приводят к реальным результатам. В другом проекте, описанном в той же статье, SmartCitizen, из более чем 1100 переданных добровольцам сенсорных комплектов только 20% постоянно передавали данные. Соответственно, разработаны сложные механизмы стимулирования и справедливого вознаграждения добровольцев. Нематериальные стимулы, такие как осознание собственного научного вклада в проект и получение социального признания, также играют важную роль. Полученный опыт подтвердил значимость личных связей для вовлечения и удержания волонтеров. «Сарафанное радио» оказывается гораздо эффективнее для рекрутинга, чем даже популярные онлайн-платформы SciStarter и VolunteerMatch². Также обнаружено, что добровольцы, участвующие в решении более разнообразных задач (наполнение геоинформационных систем, ведение социальных сетей, идентификация видов животных), демонстрируют большую вовлечённость и чувство сопричастности к проекту [16]. Геймификация в задачах удержания добровольцев рассматривается в работе [6].

Вторая проблема – в том, что открытые проекты изначально уязвимы по отношению к злонамеренным вбросам неверных данных. В чём причина таких атак? Ответом может служить цитата из одного известного интервью с директором транспортной лаборатории. Он так и спросил: «Если я не хочу, чтобы другие выбирали маршрут без пробок, не лучше ли мне подделать данные о своих поездках?» [цит. по: 20, р. 1; пер. мой. – С. Е.].

Выделяют три типа угроз. Первый – это отравление данных (прямой вброс ложных данных). Второй тип – сговор: группа людей договаривается и фабрикует данные для общей выгоды. И, наконец, третий тип угроз – создание злонамеренным участником сотен фейковых аккаунтов для имитации массовости. Одной из первых попыток максимизации достоверности данных была предложенная в 2006 г. вычислительная архитектура Partisan [21]. Впоследствии в числе алгоритмических методов повышения точности применялись также процедуры адаптивного оптимального сопоставления (adaptive Best-Match, aBM) и адаптивного сопоставления на основе доверия (Trust-based adaptive Best-Match, TaBM) [15]. Алгоритм aBM представляет предварительное

² VolunteerMatch is now part of Idealist! // Idealist : [сайт]. URL: <https://idealist.org/volunteermatch> (дата обращения: 17.12.2025).

моделирование измерительной процедуры с адаптацией к реальной обстановке, что позволяет выровнять территориальное распределение точек замера. Алгоритм ТаВМ решает задачу противодействия вбросу ложных данных, оценивая надёжность подозрительных участников с помощью оригинальной модели доверия. Небольшой платой за существенный выигрыш в точности измерений в проектах, в которых участвуют добровольцы-злоумышленники, являются повышенные затраты на вычисления.

Известным аппаратным решением является т. н. «портлендский чип» – Trusted Platform Module (TPM), интегрируемый в каждое устройство [20]. Вместо того, чтобы полагаться на косвенное подтверждение данных от других источников, их целостность проверяется непосредственно на устройстве. В чип TPM «встроен» закрытый ключ, удостоверяющий данные и надёжно связывающий личность добровольца с его устройством.

Третья проблема состоит в необходимости обеспечить конфиденциальность персональных данных добровольцев. Сбор данных с личных устройств неизбежно затрагивает чувствительную информацию. Парадокс, но для того, чтобы сообщество массово и охотно делилось данными, необходимы надёжные механизмы защиты частной жизни. Действительно, сбор подробных данных о местоположении и активности может раскрыть персональную информацию (место жительства, распорядок дня) [5]. В интересах защиты конфиденциальности применяются, например, криптографические методы и техники пертурбации (добавление шума), позволяющие получать агрегированную статистику без раскрытия индивидуальных данных [22]. На практике возникает противоречие между обеспечением конфиденциальности и обеспечением качества данных: для оценки достоверности данных часто требуется информация о профиле добровольцев, но тем не менее организаторы проектов избегают обязательной регистрации добровольцев, чтобы их не отпугивать [5].

Как ответ на обсуждаемые вызовы парадигма PS-проектов эволюционирует от использования отдельных, узкоспециализированных приложений к многофункциональным социальным платформам. Новые вычислительные архитектуры позволяют пользователям самостоятельно создавать кампании по сбору данных, объединяя географические и социальные структуры.

Кратко рассмотрим некоторые успешные PS-проекты.

КАРТИРОВАНИЕ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ГОРОДАХ

Шумовое загрязнение, наряду с загрязнением воздуха мелкодисперсными частицами, относится к числу наиболее значимых факторов экологического риска в урбанизированных районах. Представляя собой серьёзную угрозу для общественного здоровья, оно способствует развитию тугоухости, расстройствам сна, сердечно-сосудистым патологиям и когнитивным нарушениям. Согласно оценкам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), воздействие транспортного шума в Европе приводит к ежегодной потере не менее одного миллиона лет здоровой жизни. В связи с этим регулирующие органы, в частности Европейский Союз, законодательно обязал государства-члены разработать

стратегические шумовые карты, направленные на оценку и контроль акустической обстановки в городах. В контексте современных технологических возможностей актуальным становится использование потенциала PS-технологий для массового картирования шума [23].

Картирование шума представляет собой процесс создания визуальных представлений о пространственном распределении уровней звукового давления на определённой территории за конкретный период времени. Данный процесс включает в себя количественную оценку шумового загрязнения, обусловленного различными источниками, и отображение полученных данных в виде карт, где интенсивность шума выражается в децибелах – дБ(А).

К настоящему времени накоплен значительный опыт картирования шумов с участием общественности. Распространено мнение о возможности использования для картирования шума случайных смартфонов. Однако такой подход применим главным образом для образовательных проектов, знакомящих школьников с особенностями окружающей среды. Для серьёзных измерений они не годятся. Причиной тому является вариативность характеристик MEMS-микрофонов, используемых в смартфонах. Таким образом, для обеспечения сопоставимости результатов измерений необходимо использовать смартфоны одного типа, кроме того, их откалибровать. Калибровка представляет собой процедуру сравнения показаний измерительного устройства с эталонным прибором. Калибровка смартфонов производится в т. н. «безэховой камере». Показания смартфонов сопоставляются с данными, полученными с помощью профессионального шумомера на различных частотах и уровнях громкости (с использованием белого шума в качестве тестового сигнала) [14]. После индивидуальной калибровки систематическая погрешность смартфонов снижается до менее чем 1,0 дБ(А), а это уже уровень профессиональных шумомеров класса 2. Также было обнаружено, что смартфоны с системой Android подвержены вариативности акустической чувствительности. Смартфоны с системой iOS демонстрируют бóльшую стабильность показаний, потому что их производство сосредоточено в одной корпорации. На результаты сильно влияет и то, каким образом доброволец держит смартфон (в руке, кармане, сумке и т. д.). Дальнейший рост качества измерений требует перехода к внешним микрофонам, оснащённым ветрозащитой [3].

Обработка сигналов выполняется с использованием приложений, отфильтровывающих аномальные значения шума, выбросы и заведомо недостоверные данные. Приложения учитывают также статистические «смещения». Эффект пространственного смещения выражается в концентрации данных в густонаселённых районах и вдоль крупных транспортных магистралей, что приводит к недостаточному охвату тихих и пригородных зон. Временное смещение также является значимым фактором, поскольку большинство измерений проводится в дневное время, с пиками, соответствующими времени поездок на работу, в то время как данные, полученные в ночное время, крайне редки. Наконец, смещение, связанное с мотивацией участников, приводит к завышению средних показателей уровня шума, поскольку пользователи чаще измеряют шум в тех местах, которые их беспокоят [2].

В акустических PS-проектах для привлечения участников часто используют геймификацию (например, проекты NoiseBattle, NoiseQuest³) и системы поощрений (например, Hush City Ambassadors⁴). Конфиденциальность данных обеспечивается их анонимизацией и уменьшением частоты записи при увеличении количества участников.

Широкому распространению данного метода препятствует скептическое отношение городских властей к качеству данных, собранных непрофессионалами с помощью потребительских устройств. Зачастую органы власти считают, что такие данные значительно уступают информации, полученной с использованием профессионального оборудования. Тем не менее, данные проектов уже находят применение в городском планировании. Они используются для выявления уязвимых сообществ и «горячих точек» шумового загрязнения, для обоснования решений по снижению шума (например, изменение скоростного режима, установка шумозащитных экранов), при планировании тихих комфортных зон.

К наиболее успешным и признанным властями проектам кооперативного картирования шумов относятся Smart City (Сарагоса, 2012)⁵, SONYC (Нью-Йорк, 2016–2022)⁶, The Noise Maps (Барселона, 2020)⁷, Sound Around Town (города Северной Каролины, 2017)⁸, De Oorzaak (города Фландрии, 2023)⁹.

ОТ КАРТИРОВАНИЯ ШУМОВ К ЗВУКОВЫМ ЛАНДШАФТАМ

Дальнейший прогресс кооперативного картирования шумов связан с переходом от чисто количественных измерений уровня звукового поля к качественному портретированию звуковых ландшафтов. Звуковой ландшафт (*soundscape*) представляет совокупность всех звуков, существующих в определённой местности или среде. Это понятие включает в себя не только природные звуки (например, шум ветра, пение птиц, журчание воды), но и звуки, созданные человеком (транспорт, разговоры, музыка, работа механизмов). Более широкое определение звукового ландшафта подчёркивает его восприятие слушателем и его субъективную оценку. Таким образом, звуковой ландшафт – это не просто набор звуков, но и то, как эти звуки воспринимаются и интерпретируются людьми. Биофония, геофония и антропофония – главные компоненты звуковых ландшафтов [24]. Проекты, такие как Hush City¹⁰, уже демонстрируют

³ NoiseQuest Project : [сайт]. URL: <https://noisequest.psu.edu/> (дата обращения: 17.12.2025).

⁴ Hush City Ambassadors // Hush City Lab : [сайт]. URL: <https://opensourceoundscapes.org/hush-city-ambassadors/> (дата обращения: 17.12.2025).

⁵ Glasco J. Smart City Zaragoza: The power of citizen innovators // Bee Smart City : [сайт]. 2018. July 1. URL: <https://beesmart.city/en/smart-city-blog/smart-city-zaragoza-the-power-of-citizen-innovators> (дата обращения: 17.12.2025).

⁶ SONYC – Sounds of New York City // NYU Web Publishing : [сайт]. URL: <https://wp.nyu.edu/sonyc/> (дата обращения: 17.12.2025).

⁷ Environmental data maps // Barcelona City Council : [сайт]. URL: <https://ajuntament.barcelona.cat/mapes-dades-ambientals/qualitativa/en/> (дата обращения: 17.12.2025).

⁸ Carson B. L. Sound Around Town: Sense of place and the perception of the acoustic environment // ProQuest : [сайт]. 2019. URL: <https://proquest.com/docview/2380719141> (дата обращения: 17.12.2025).

⁹ Citizens study maps environmental noise in Flemish cities // Belga News Agency : [сайт]. 2024. April 29. URL: <https://lganewsagency.eu/citizen-study-maps-environmental-noise-in-flemish-cities> (дата обращения: 17.12.2025).

¹⁰ Hush City Mobile Lab : [сайт]. URL: <https://opensourceoundscapes.org/> (дата обращения: 17.12.2025).

ценность субъективных данных о восприятии звуковой среды. Такой подход позволяет планировать не просто «тихие», а акустически комфортные и приятные городские пространства, подчёркивающие естественные звуки (пение птиц, шум воды) при подавлении раздражающего антропогенного шума. Естественно, что задача идентификации источников звука сложнее задачи обычного картирования. В таких проектах смартфоны уступают место специализированным широкополосным регистраторам, а к обработке аудиозаписей уже привлекаются нейросети (см., например, [25]).

Технологию ландшафтного портретирования рассмотрим на конкретном примере. Проект *Soundscapes to Landscapes (S2L, «От звуковых ландшафтов к реальности»)* получил широкую известность как пример успешного применения акустических PS-технологий [16]. В течение пяти лет, с 2017 по 2021 г., на территории округа Сонома, Калифорния, на площади 4118 км² был собран значительный объём данных обо всех трёх компонентах звуковых ландшафтов. Динамические долговременные измерения проводились в 1281 точке, причём 65% точек располагались на частных землях. Это важное достижение, с учётом сложности доступа к таким участкам. Особенное внимание в проекте было уделено сбору данных о биоразнообразии птиц в период размножения.

В проекте приняли участие 259 добровольцев (включая также профессиональных учёных и студентов-стажёров). Их суммарный вклад составил 8390 человеко-часов, распределённых между сбором биоакустических референсных данных (41%), полевыми работами (40%) и другими задачами, включая работу с геоинформационными системами, ведение социальных сетей и загрузку данных. Примечательно, что студенты-стажёры, поддержанные академическими грантами, обеспечили 48% от общего количества человеко-часов. Сотрудничество PS-проектов с образовательными учреждениями представляется перспективным.

В техническом отношении проект опирался не на смартфоны, а на экономичные автономные записывающие устройства *AudioMoth* стоимостью всего 85 долл. США за единицу. Они устанавливались для долговременных измерений в той или иной точке. Использовались и облачные инструменты. Их выбор представляется разумным и может быть взят на вооружение в будущих проектах: приложение-менеджер командной работы *Airtable*, корпоративный мессенджер *Slack* для коммуникации и сервис *Google Drive* для хранения данных. Вовлечение участников поддерживалось собственным веб-сайтом, рассылками через соответствующий сервис *Mailchimp*. В полевых условиях применялись приложения *Gaia GPS* для навигации и *ArcGIS Survey123* для сбора вспомогательных данных. В обработку поступили аудиозаписи общей длительностью 12 431 час. Анализ аудиозаписей проводился на платформе *Arbimon*: эксперт по вокализации птиц создавал шаблон голоса целевого вида, после чего система производила поиск похожих фрагментов по всему архиву. Далее добровольцы валидировали найденные совпадения, подтверждая или опровергая наличие голоса птицы. В итоге были идентифицированы 54 вида птиц.

Не обошлось без трудностей. Организаторы проекта обратили внимание на то, что существенная задержка между сбором данных и получением конечных результатов потенциально снижала долгосрочную мотивацию участников.

Такая проблема возникает, если задача сложная, а обработка данных трудоёмкая. Однако имеется возможность устранить и эту проблему.

Что касается России, то опыт отечественных проектов построения звуковых ландшафтов изложен в работах [26; 27]. Авторы привели акустическую PS-технология в соответствие международным стандартам ISO. Была проведена аудиовизуальная экспертиза различных городских локаций, регистрировались их акустические характеристики. Восприятие звуковой среды добровольцами охарактеризовано координатами на плоскости «приятность/событийность». Результаты показали возможность их использования в градостроительном проектировании. В продолжение проекта проведено перекрёстное оценивание качества звуковой среды кампусов группами студентов из двух московских университетов – МГУ и МГТУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проекты кооперативного зондирования имеют отличие от классических проектов *citizen science*. Разница заключается в глубине вовлечения добровольцев. В обсуждаемом случае доброволец – скорее поставщик маленькой крупицы данных. Для выделения этой группы проектов используют понятия «добровольческая география» [28] или «наука толпы» [29]. Однако важность этого вида исследований ничуть не меньше классических вариантов. В обиход вошёл инструмент, который меняет баланс сил в администрировании, передавая власть от централизованных институтов в руки обычных граждан и сообществ. Традиционная наука работает по «нисходящей» (top-down) модели, в рамках которой учёные ставят задачи. Новая модель – «восходящая» (bottom-up), где сами сообщества определяют, какие проблемы для них важны, и организуют сбор данных для их решения.

Как показано в статье, эффективный совместный сбор данных – это не просто массовое участие, а сложная задача оптимизации. Эта задача требует баланса между потребностью в точных данных об окружающей среде и реальностью человеческого поведения, включающую нашу забывчивость, непредсказуемость и даже потенциальную недобросовестность.

Помимо планировщиков и санитарных служб технологиями оперативного контроля, в частности, шума и качества воздуха уже сейчас активно интересуется индустрия недвижимости. Таким образом, если такие данные станут общедоступными, это приведёт к новой форме экологической джентрификации, когда только состоятельные люди смогут позволить себе жить в районах с документально подтверждёнными чистым воздухом и тишиной.

И, наконец, – важное соображение, касающееся этической стороны вовлечения участников зондирования: оказалось, что прогресс автоматизации измерений уже сейчас открывает удалённый доступ к смартфону ничего не подозревающего горожанина. Его смартфон кратковременно мобилизуют для измерений только потому, что он оказался в точке, представляющей интерес для проекта. Тревога, высказываемая аналитиками по этому поводу, вполне обоснованна [6].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Conrad C. C., Hilchey K. G.* A review of citizen science and community-based environmental monitoring: Issues and opportunities // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2011. Vol. 176, № 1–4. P. 273–291. DOI 10.1007/s10661-010-1582-5.
2. *Dickinson J. L., Zuckerberg B., Bonter D. N.* Citizen science as an ecological research tool: Challenges and benefits // *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2010. Vol. 41. P. 149–172. DOI 10.1146/annurev-ecolsys-102209-144636.
3. Citizens as environmental sensors: Noise mapping and assessment on Lemnos Island, Greece, using VGI and web technologies / S. Sofianopoulos, S. Stigas, E. Stratakos [et al.] // *European Journal of Geography*. 2024. Vol. 15, № 2. P. 106–119. DOI 10.48088/ejg.s.sof.15.2.106.119.
4. *Steffens C., Pesavento M.* Collaborative sensing techniques // *Spectrum sharing: The next frontier in wireless networks*. Ed. by C. B. Papadias, T. Ratnarajah, D. T. M. Slock. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, Inc., 2020. P. 121–145. DOI 10.1002/9781119551539.ch7.
5. Big data management in participatory sensing: Issues, trends and future directions / A. Karim, A. Siddiqa, Z. Safdar [et al.] // *Future Generation Computer Systems*. 2020. Vol. 107. P. 942–955. DOI 10.1016/j.future.2017.10.007.
6. Environmental data sensing through participatory urbanism. A best-practice analysis and city-administration perspective / G. Mikusch, A. Petz, E. Steiner [et al.] // *GI Forum – Journal for Geographic Information Science*. 2023. Vol. 11, № 2. P. 3–17. DOI 10.1553/giscience2023_02_s3.
7. *Малюгин Д. В.* Современные возможности организации экологического мониторинга // *Глобальные и региональные аспекты устойчивого развития: современные реалии : сб. мат. Всероссийской науч.-практ. конф. (Грозный, 23–24 октября 2020 г.)*. Грозный : Изд-во ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет», 2020. С. 520–522. DOI 10.36684/32-2020-1-520-522. EDN FENPHH.
8. *Suman A. B.* Sensing the risk: In search of the factors influencing the policy uptake of citizen sensing : A PhD thesis. Tilburg : [Tilburg University], 2020. xi, 446 p. ISBN 978-94-6167-424-1.
9. Make America quiet again: Achieving socially robust knowledge on noise pollution through citizen science / K. R. Vegt, J. E. Elberse, B. T. Rutjens, L. K. Hessels // *Public Understanding of Science*. 2025. Vol. 34, № 8. P. 1066–1087. DOI 10.1177/09636625251338190.
10. Cooperative integrated sensing and communication in 6G: From operators perspective / X. Wang, Z. Han, R. Xi [et al.] // *IEEE Wireless Communications*. 2025. Vol. 32, № 1. P. 52–59. DOI 10.1109/MWC.010.2400063.
11. A hybrid is born: Integrating collective sensing, citizen science and professional monitoring of the environment / S. Becken, R. M. Connolly, J. Chen, B. Stantic // *Ecological Informatics*. 2019. Vol. 52. P. 35–45. DOI 10.1016/j.ecoinf.2019.05.001.
12. When crowdsourcing meets mobile sensing: A social network perspective / P.-Y. Chen, S.-M. Cheng, P.-S. Ting [et al.] // *IEEE Communications Magazine*. 2015. Vol. 53, № 10. P. 157–163. DOI 10.1109/MCOM.2015.7295478.
13. *Balestrini M., Diez T., Kresin F.* From participatory sensing to making sense // *Environmental infrastructures and platforms 2015 – Infrastructures and platforms for environmental crowd sensing and big data co-located with the European Citizen Science Association General Assembly 2015 (ECSA GA'2015) : Proceedings of the workshop (Barcelona, October 28–30, 2015)*. Ed. by A. J. Berre, S. Schade, J. Piera. Barcelona, 2015. P. 49–56.
14. *D'Hondt E., Stevens M., Jacobs A.* Participatory noise mapping works! An evaluation of participatory sensing as an alternative to standard techniques for environmental monitoring // *Pervasive and Mobile Computing*. 2013. Vol. 9, № 5. P. 681–694. DOI 10.1016/j.pmcj.2012.09.002.

15. *Zenonos A.* Coordinating measurements for participatory sensing applications : A thesis ... for the degree of Doctor of Philosophy. [Southampton] : University of Southampton, 2018. xi, 127 p. URL: https://eprints.soton.ac.uk/420949/1/Final_Thesis.pdf (дата обращения: 21.01.2026).
16. The soundscapes to landscapes project: Development of a bioacoustics-based monitoring workflow with multiple citizen scientist contributions / R. Snyder, M. Clark, L. Salas L. [et al.] // *Citizen Science: Theory and Practice*. 2022. Vol. 7, № 1. Art. 24. DOI 10.5334/cstp.391.
17. *Егереv С. В.* Научные коммуникации и популяризация науки в задачах CS-рекрутинга // *Управление наукой: теория и практика*. 2024. Т. 6, № 3. С. 223–235. DOI 10.19181/smtp.2024.6.3.16. EDN YQCORG.
18. *Acker A., Lukac M., Estrin D.* Participatory sensing for community data campaigns: A case study // *UCLA: Center for Embedded Network Sensing*. 2010. November 30. URL: <https://escholarship.org/uc/item/95t603tj> (дата обращения: 21.01.2026).
19. Circles of crowdsourcing: The social organization of participatory sensing / M. Muller, S. Hupfer, S. Levy [et al.] // *MobileHCI '11 : Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (Stockholm, August 30 – September 2, 2011)*. New York : ACM, 2011.
20. Towards trustworthy participatory sensing / A. Dua, N. Bulusu, W.-C. Feng, W. Hu // *HotSec'09: Proceedings of the 4th USENIX Conference on Hot Topics in Security (Montreal, August 11, 2009)*. Berkeley, CA : USENIX Association, 2009. Art. 8.
21. Participatory sensing / J. A. Burke, D. Estrin, M. Hansen [et al.] // *UCLA: Center for Embedded Network Sensing*. 2006. May 5. URL: <https://escholarship.org/uc/item/19h777qd> (дата обращения: 21.01.2026).
22. Data collection model in hybrid network for participatory sensing / J. Choi, T. Kim, J. Kim [et al.] // *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing*. 2016. Vol. 7, № 4. Art. 1643002. DOI 10.1142/S1793962316430029.
23. *Schori A., de Róiste M., Schindler M.* Mapping noise pollution using modelled and crowdsourced urban noise data // *New Zealand Geographer*. 2025. Vol. 81, № 1. P. 37–51. DOI 10.1111/nzg.70002.
24. *Егереv С. В.* Биофоническая компонента звукового ландшафта в проектах гражданской науки // *Звук в нашей жизни : сб. науч. ст. Всерос. междисциплинар. конф. / отв. ред. Н. А. Богословская (Высочил), В. Н. Носуленко, А. Ю. Разваляева. М. : Институт психологии РАН, 2025. С. 292–297. EDN JESZOD.*
25. *Green M., Murphy D.* Environmental sound monitoring using machine learning on mobile devices // *Applied Acoustics*. 2020. Vol. 159. Art. 107041. DOI 10.1016/j.apacoust.2019.107041.
26. Звуковые ландшафты в городской среде: субъективное восприятие и объективный контроль / Л. К. Римская-Корсакова, Н. Г. Канев, А. И. Комкин, С. А. Шуляпов // *Акустический журнал*. 2024. Т. 70, № 6. С. 921–932. DOI 10.31857/S0320791924060103. EDN JTKWMA.
27. Звуковой ландшафт мегаполиса: влияние адаптации человека к звуковой среде на оценку её качества / Н. Г. Канев, Л. К. Римская-Корсакова, И. Л. Марголина, А. И. Комкин // *Акустический журнал*. 2025. Т. 71, № 5. С. 731–741. DOI 10.7868/S3034500625050125. EDN RUWCOE.
28. *Goodchild M. F.* Citizens as sensors: The world of volunteered geography // *GeoJournal*. 2007. Vol. 69, № 4. P. 211–221. DOI 10.1007/s10708-007-9111-y.
29. *Егереv С. В.* Наука толпы и наука граждан // *Общественные науки и современность*. 2018. № 3. С. 153–162. DOI 10.7868/S0869049918030115. EDN XNSBFJ.

REFERENCES

1. Conrad C. C., Hilchey K. G. A review of citizen science and community-based environmental monitoring: Issues and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2011;176(1–4):273–291. DOI 10.1007/s10661-010-1582-5.
2. Dickinson J. L., Zuckerberg B., Bonter D. N. Citizen science as an ecological research tool: Challenges and benefits. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2010;41:149–172. DOI 10.1146/annurev-ecolsys-102209-144636.
3. Sofianopoulos S., Stigas S., Stratakos E., Tserpes K., Faka A., Chalkias C. Citizens as environmental sensors: Noise mapping and assessment on Lemnos Island, Greece, using VGI and web technologies. *European Journal of Geography*. 2024;15(2):106–119. DOI 10.48088/ejg.s.sof.15.2.106.119.
4. Steffens C., Pesavento M. Collaborative sensing techniques. In: Papadias C. B., Ratnarajah T., Slock D. T. M., eds. *Spectrum sharing: The next frontier in wireless networks*. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, Inc.; 2020. P. 121–145. DOI 10.1002/9781119551539.ch7.
5. Karim A., Siddiq A., Safdar Z. [et al.] Big data management in participatory sensing: Issues, trends and future directions. *Future Generation Computer Systems*. 2020;107:942–955. DOI 10.1016/j.future.2017.10.007.
6. Mikusch G., Petz A., Steiner E., Tabakovic M., Tellioglu H. Environmental data sensing through participatory urbanism. A best-practice analysis and city-administration perspective. *GI Forum – Journal for Geographic Information Science*. 2023;11(2):3–17. DOI 10.1553/giscience2023_02_s3.
7. Malyugin D. V. Modern possibilities of environmental monitoring organization. In: *Global and regional aspects of sustainable development: Modern realities [Global’nye i regional’nye aspekty ustoichivogo razvitiya: sovremennye realii] : Proceedings of the All-Russian science-to-practice conference (Grozny, October 23–24, 2020)*. Grozny : Chechen State University Publ.; 2020. P. 520–522. (In Russ.). DOI 10.36684/32-2020-1-520-522.
8. Suman A. B. Sensing the risk: In search of the factors influencing the policy uptake of citizen sensing : A PhD thesis. Tilburg : [Tilburg University]; 2020. xi, 446 p. ISBN 978-94-6167-424-1.
9. Vegt K. R., Elberse J. E., Rutjens B. T., Hessels L. K. Make America quiet again: Achieving socially robust knowledge on noise pollution through citizen science. *Public Understanding of Science*. 2025;34(8):1066–1087. DOI 10.1177/09636625251338190.
10. Wang X., Han Z., Xi R. [et al.] Cooperative integrated sensing and communication in 6G: From operators perspective. *IEEE Wireless Communications*. 2025;32(1):52–59. DOI 10.1109/MWC.010.2400063.
11. Becken S., Connolly R. M., Chen J., Stantic B. A hybrid is born: Integrating collective sensing, citizen science and professional monitoring of the environment. *Ecological Informatics*. 2019;52:35–45. DOI 10.1016/j.ecoinf.2019.05.001.
12. Chen P.-Y., Cheng S.-M., Ting P.-S., Lien C.-W., Chu F.-J. When crowdsourcing meets mobile sensing: A social network perspective. *IEEE Communications Magazine*. 2015;53(10):157–163. DOI 10.1109/MCOM.2015.7295478.
13. Balestrini M., Diez T., Kresin F. From participatory sensing to making sense. In: Berre A. J., Schade S., Piera J., eds. *Environmental infrastructures and platforms 2015 – Infrastructures and platforms for environmental crowd sensing and big data co-located with the European Citizen Science Association General Assembly 2015 (ECSA GA’2015) : Proceedings of the workshop (Barcelona, October 28–30, 2015)*. Barcelona; 2015. P. 49–56.
14. D’Hondt E., Stevens M., Jacobs A. Participatory noise mapping works! An evaluation of participatory sensing as an alternative to standard techniques for environmental monitoring. *Pervasive and Mobile Computing*. 2013;9(5):681–694. DOI 10.1016/j.pmcj.2012.09.002.

15. Zenonos A. Coordinating measurements for participatory sensing applications : A thesis ... for the degree of Doctor of Philosophy. [Southampton] : University of Southampton; 2018. xi, 127 p. Available at: https://eprints.soton.ac.uk/420949/1/Final_Thesis.pdf (accessed: 21.01.2026).
16. Snyder R., Clark M., Salas L. [et al.] The soundscapes to landscapes project: Development of a bioacoustics-based monitoring workflow with multiple citizen scientist contributions. *Citizen Science: Theory and Practice*. 2022;7(1):24. DOI 10.5334/cstp.391.
17. Egerev S. V. Science communication and popularization of science in CS recruitment tasks. *Science Management: Theory and Practice*. 2024;6(3):223–235. (In Russ.). DOI 10.19181/smtp.2024.6.3.16.
18. Acker A., Lukac M., Estrin D. Participatory sensing for community data campaigns: A case study. *UCLA: Center for Embedded Network Sensing*. 2010. November 30. Available at: <https://escholarship.org/uc/item/95t603tj> (accessed: 21.01.2026).
19. Muller M., Hupfer S., Levy S., Gruen D., Sempere A., Priedhorsky R. Circles of crowd-sourcing: The social organization of participatory sensing. In: *MobileHCI '11 : Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (Stockholm, August 30 – September 2, 2011)*. New York : ACM; 2011.
20. Dua A., Bulusu N., Feng W.-C., Hu W. Towards trustworthy participatory sensing. In: *HotSec'09 : Proceedings of the 4th USENIX Conference on Hot Topics in Security (Montreal, August 11, 2009)*. Berkeley, CA : USENIX Association, 2009. Art. 8.
21. Burke J. A., Estrin D., Hansen M., Parker A., Ramanathan N., Reddy S., Srivastava M. B. Participatory sensing. *UCLA: Center for Embedded Network Sensing*. 2006. May 5. Available at: <https://escholarship.org/uc/item/19h777qd> (дата обращения: 21.01.2026).
22. Choi J., Kim T., Kim J., Moon S., Han Y., Lee J. Data collection model in hybrid network for participatory sensing. *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing*. 2016;7(4):1643002. DOI 10.1142/S1793962316430029.
23. Schori A, de Róiste M, Schindler M. Mapping noise pollution using modelled and crowd-sourced urban noise data. *New Zealand Geographer*. 2025;81(1):37–51. DOI 10.1111/nzg.70002.
24. Egerev S. V. The biophonic component of the soundscape in citizen science projects [Biofonicheskaya komponenta zvukovogo landshafta v proektakh grazhdanskoi nauki]. In: Bogoslovskaya (Vyskochil) N. A., Nosulenko V. N., Razvalyaeva A. Yu., eds. *Sound in our lives [Zvuk v nashei zhizni] : Proceedings of All-Russian interdisciplinary conference*. Moscow : Institute of Psychology RAS; 2025. P. 292–297. (In Russ.).
25. Green M., Murphy D. Environmental sound monitoring using machine learning on mobile devices. *Applied Acoustics*. 2020;159:107041. DOI 10.1016/j.apacoust.2019.107041.
26. Rimskaya-Korsakova L. K., Kanev N. G., Komkin A. I., Shulyapov S. A. Soundscapes in the urban environment: Audiovisual perception and objective control. *Acoustical Physics*. 2024;70(6):921–932. (In Russ.). DOI 10.31857/S0320791924060103.
27. Kanev N. G., Rimskaya-Korsakova L. K., Margolina I. L., Komkin A. I. The soundscape of the metropolis: The influence of human adaptation to the sound environment on the assessment of its quality. *Acoustical Physics*. 2025;71(5): 731–741. (In Russ.). DOI 10.7868/S3034500625050125.
28. Goodchild M. F. Citizens as sensors: The world of volunteered geography. *GeoJournal*. 2007;69(4):211–221. DOI 10.1007/s10708-007-9111-y.
29. Egerev S. V. Crowd science and citizen science. *Social Sciences and Contemporary World*. 2018;(3):153–162. (In Russ.). DOI 10.7868/S0869049918030115.

Поступила в редакцию / Received 19.12.2025.

Одобрена после рецензирования / Revised 14.01.2026.

Принята к публикации / Accepted 25.02.2026.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Егерев Сергей Викторович *egerev@inion.ru*

Доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник,
Центр научно-информационных исследований по науке, образованию и технологиям,
Институт научной информации по общественным наукам РАН, Москва, Россия
SPIN-код: 9467-4883

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Sergey V. Egerev *egerev@inion.ru*

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Chief Researcher, Centre for Academic Research
and Informational Studies on Science, Education and Technologies,
Institute of Scientific Information for Social Sciences of the RAS, Moscow, Russia
ORCID: 0000-0001-6998-1060
Scopus Author ID: 55964415400
Web of Science ResearcherID: J-2310-2016