

ГЕОЭКОЛОГИЯ (НАУКИ О ЗЕМЛЕ)

УДК 502/504

Экологическое обоснование использования активности микробиологического дыхания для оценки состояния почв при инженерно-экологических изысканиях**Т.И. Караваева, В.П. Тихонов**

Естественнонаучный институт Пермского государственного национально-исследовательского университета, 614990, Пермь, ул. Генкеля, 4

E-mail: georisk@psu.ru

(Статья поступила в редакцию 14 марта 2017 г.)

В нормативной документации по инженерно-экологическим изысканиям почвы оценивают как ресурс, но не как природную систему, обладающую средообразующими функциями. В результате анализа теоретических основ функционирования микробиологических сообществ экологическое состояние почвы предлагается оценивать по изменению активности микробиологического дыхания, сравнивая с фоновыми значениями в зональных почвах.

Ключевые слова: *инженерно-экологические изыскания, оценка почв, экологическая функция, микробиологическое дыхание.*

DOI: 10.17072/psu.geol.16.3.283

Введение

Анализ основных задач инженерно-экологических изысканий показывает их выраженную природоохранную направленность. Изыскания выполняют для оценки современного состояния и прогноза возможных изменений окружающей среды под влиянием техногенной нагрузки для экологического обоснования строительства и иной хозяйственной деятельности (Инженерные ..., 2012). В составе изысканий изучают и состояние почвы, в которой протекают все важнейшие обменные процессы: энергетический, воздушно-водный, органоминеральный; происходит биологический круговорот веществ, суммируются результаты функциональной деятельности всех компонентов биогеоценоза. Практика показывает, что

состав показателей и полнота информации о состоянии животного и растительного мира при проведении экспертизы документации не корректны, а оценка воздействия и компенсационные мероприятия носят формальный характер и малоэффективны (Кривенко, 2014). В полной мере это относится и к почвам.

В соответствии со ст. 1 Федерального закона «Об охране окружающей среды» приоритет сохранения естественных экологических систем, природных ландшафтов и комплексов относится к основным принципам закона. Соответственно экологической доктрине Российской Федерации (Экологическая доктрина..., 2002) жизнеобеспечивающие функции биосферы по отношению к прямому использованию ее ресурсов являются приоритетными в государственной политике в области эколо-

гии. В связи с этим нормативные показатели состояния окружающей среды должны включать характеристики экологических функций биосистем. Соответственно и в проектной документации должны оцениваться воздействия хозяйственного объекта на средообразующие функции почв.

Постановка проблемы

Разработчики нормативно-методической документации по инженерным изысканиям совершенно условно предлагают изучать природные системы, в частности почву как ресурс, оценивая ее с точки зрения загрязнения. В пункте 8.4.13 СП 47.13330.2012 (Инженерные ..., 2012) почвенные и грунтовые исследования предлагается выполнять с целью:

- выбора места размещения площадок строительства на менее плодородных почвах;
- определения влияния проектируемого сооружения на прилегающие сельскохозяйственные и лесные угодья;
- оценки возможности изъятия земель исходя из их ценности, а также возможности размещения отходов;
- оценки загрязненности почв на площадках строительства и в зоне их возможного влияния;
- определения зон и мощности загрязненных грунтов.

Заявленные цели исследований соответствуют утилитарной агрономической трактовке роли почвы только как объекта сельскохозяйственного производства, но не позволяют оценить экологическое состояние почвы, которая играет определяющую роль в устойчивом функционировании биосферы (Добровольский, 2000) в связи с многообразием выполняемых экологических функций. Изучение преимущественно загрязнения почвы не дает представления о ней как о среде обитания биотических сообществ: животных, грибов, микроорганизмов. Экологическое состояние природных систем по результатам таких работ оценить невозможно. Суще-

ственным методическим недостатком нормативных документов по инженерным изысканиям (Инженерные ..., 2012; Инженерно-экологические ..., 1997) является то, что в них не учитывается основная функция почвы – средообразующая (экологическая), и это не позволяет в полной мере реализовать требования технических регламентов и природоохранного законодательства России. В соответствии с п. 4.1 СП 47.13330.2012 (Инженерные ..., 2012) инженерные изыскания являются видом градостроительной деятельности, осуществляемой с целью изучения природных условий и факторов техногенного воздействия. Изучение природных условий невозможно без оценки качества жизнеобеспечивающих функций, которые определяют экологическое состояние каждого компонента природной среды, в частности почвы. Научная концепция статьи заключается в теоретическом и методическом обосновании использования активности микробиологического дыхания для оценки экологического состояния почв с целью актуализации нормативно-методической документации по инженерно-экологическим изысканиям.

Экологические функции почвы определяются специфическими биоиндикаторами и комплексными показателями, учитываемыми, что она как компонент природной среды находится во взаимосвязи с другими компонентами биогеоценоза, составляя единую зональную природную систему. Оценивать качество комплексной средообразующей функции почв следует не по частным, а по наиболее информативному интегральному экологическому показателю. В процессе проведения инженерно-экологических изысканий такая оценка должна быть экспрессной, сопоставимой по времени с длительностью проведения полевых или камеральных работ, малозатратной и максимально информативной. Действие показателя экологического состояния должно распространяться на весь тип или подтип зональной почвы в пределах территории изысканий. Методические основы использования та-

кого показателя при проведении инженерно-экологических изысканий до настоящего времени не разработаны.

Обоснование выбора интегрального показателя экологической функции почв

Сложность оценки экологического состояния компонентов среды заключается в недостаточной разработке методологической базы. Современные подходы к экологической оценке качества природных сред должны быть ориентированы, прежде всего, на биотические показатели. В настоящее время накоплен довольно значительный объем информации о применении биохимических и биологических методов для оценки экологического состояния почв (Звягинцев и др., 1994; Колесников и др., 2006; Левин и др., 1989; Скворцова и др., 1980; Стефурак, 1982), но в основном в связи с техногенным загрязнением. Анализ концентраций различных веществ и их сравнение с ПДК имеют крайне ограниченное значение для прогноза и оценки состояния живых организмов, сообществ и природного комплекса в целом.

Почву следует рассматривать как многофункциональный динамичный компонент биогеоценоза с характерными особенностями, соответствующими зональным природно-климатическим условиям, геоморфологическому местоположению, геологическому строению и воздушно-водному режиму функционирования. В почве происходит взаимодействие живого и неорганического вещества как в функционально единой системе, объединяющей твердую, жидкую и газообразную фазы вещества. Газовая составляющая почвы является следствием почвенного дыхания, широко используемого для оценки экологического состояния экосистем. Интегрирующий показатель «дыхание почвы» представляет собой суммарную продукцию CO_2 , как результат жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, почвенной фауны и корневых систем рас-

тений. Чистый почвенный источник CO_2 (без корней) более чем на 95 % состоит из «микробного дыхания» грибов и бактерий, оставшиеся 5 % – это дыхание почвенных животных, прежде всего дождевых червей (Заварзин и др., 2006). Среди компонентов, принимающих участие в почвенном дыхании, максимальное значение имеют микроорганизмы (Дыхание почвы..., 1993; Кобак, 1988; Coleman, 1972), которые можно использовать в качестве биологических тест-объектов.

Исследователи отмечают ряд методических трудностей, ограничивающих достоверность получаемых результатов при оценке общего дыхания почвы. Большое влияние на газовый режим почвы (состав почвенного воздуха, его динамику, выделение углекислого газа и поглощение кислорода) оказывают подземные органы растений. Особое место в углекислотном газообмене с атмосферой занимает почвенная карбонатная система. Ее функционирование определяется комплексом межфазных физических и физико-химических процессов, сопряженных с химическими превращениями в поровом растворе и ионообменными реакциями с минеральной и органоминеральной частью почвы (Наумов, 2004). Большая изменчивость в общем дыхании очень трудно интерпретируется в качестве показателя экологического состояния почвы. Поэтому при изысканиях целесообразно изучать не всю экологическую нишу биотических сообществ почвы, а только микроорганизмы, состояние которых адекватно отражается в активности микробиологического дыхания.

Микроорганизмы отличаются быстрой реакцией на любые отклонения в окружающей среде от нормы, что позволяет оценить антропогенное воздействие в показателях, имеющих биологический смысл, определяющих условия жизнедеятельности. Сообщества микроорганизмов представляют собой организованные объединения популяций, обладающих общими функциями и взаимодействием. Такие объединения имеют существенную устой-

чивость к внешним воздействиям (механическое нарушение почвенного покрова, загрязнение и т.п.) и могут активно восстанавливаться до прежних значений. Микроорганизмы значительно лучше адаптируются к экстремальным физическим и химическим факторам окружающей среды, чем животные и растения. В каждом зональном типе или подтипе почв формируются специфические микробные ценозы, имеющие определенную структуру (Добровольская и др., 1996), но все они могут быть оценены одним функциональным показателем – активностью дыхания. Ответная реакция почвенных микроорганизмов на внешние воздействия в первую очередь проявляется на физиологическом уровне в изменении функции дыхания. Активность дыхания отражает суммарные биологически важные сведения о почве как среде обитания живых организмов и позволяет определить качество фундаментальных экологических функций при сравнении с эталонными зональными значениями (Караваева и др., 2016). Фиксация экологического состояния почв на период проведения инженерно-экологических изысканий должна являться приоритетной задачей исследования.

Предлагаемый к изучению в составе инженерно-экологических изысканий показатель – активность микробного дыхания почв – основан на фундаментальных законах экологии: толерантности, экологической корреляции и функциональном законе соответствия условий среды генетической предопределенности организма и отражает условия существования всего зонального биогеоценоза на период изысканий.

Эколого-функциональные связи активности микробиологического дыхания почв с факторами внешней среды в научной литературе до настоящего времени не обобщены в связи со сложностью природного процесса. Микробиологическая характеристика почв – наиболее сложный раздел почвенной диагностики, связанный с большими методологическими и методическими проблемами. Перспективность

биодиагностических методов при оценке состояния почв доказана работами ведущих специалистов в области почвенной биологии и почвоведения (Булгаков, 2002; Головченко и др., 2007; Добровольский и др., 1990; Звягинцев и др., 1994). Микробные сообщества являются ключевым звеном, определяющим качество почвы из-за их активного участия в динамике органического вещества, круговороте питательных веществ и процессах разложения (Nannipieri, 2003). Современные динамические методы оценки качества почвы в первую очередь основаны на характеристике состояния микробобиоты (Методы микробиологического контроля..., 2004). Микробные сообщества следует рассматривать как аборигенные тест-организмы для индикации экологического здоровья почвы. Многие программы мониторинга окружающей среды используют в качестве индикаторных признаков микробиологические параметры (Влоет, 2006), потому что микроорганизмы обладают наиболее тесной взаимосвязью с параметрами почвы и дают суммарную оценку состояния исследуемого объекта.

Обзор исследований Е.Л. Воробейчика с соавторами (1994) показывает, что анализ состояния почвенного микробиоценоза может быть осуществлен двумя путями – количественным учетом различных групп (видов) или измерением интегральных параметров функционирования. Интегральные методы оценки, основанные на исследовании различных типов откликов у целого ряда микроорганизмов из разных трофических групп, имеют хорошую перспективу и составляют конкуренцию традиционным методам, использующим индексы сапробности, разнообразия и т.д. Интегральным показателем благополучия микробных сообществ предлагается считать эффективность физиологических процессов, обеспечивающих их нормальное развитие (Булгаков, 2002).

Микробиологическая активность относится к основным показателям, так как до 80 - 90% процессов в почве принадлежит реакциям с участием микроорганизмов,

отвечающих всем требованиям к биологическим индикаторам (Терехова, 2007; Böhme, 2005).

Соответственно показатель качества условий жизнедеятельности почвенных гетеротрофных микроорганизмов – активность микробиологического дыхания – наиболее целесообразно использовать для оценки средообразующей функции почвы в процессе инженерных изысканий. Показатель достаточно просто определяется типовыми методами и приборами.

Исследования активности микробиологического дыхания проводились на зональных дерново-подзолистых почвах таежно-лесной зоны России (Каменщикова, 2011). Установлено, что микробный состав почв и их биохимическую активность следует считать ведущими при определении экологического состояния почв и их устойчивости к техногенным нагрузкам, принимая за эталон зональные ненарушенные почвы.

Методические подходы к оценке экологического состояния почв при инженерно-экологических изысканиях

Методические подходы к изучению экологической функции почв включают совокупность теоретических основ функционирования микробных сообществ и организационно-методических способов оценки условий их жизнедеятельности по качеству микробиологического дыхания. Разработка эффективных систем экспресс-диагностики почв является фундаментальной задачей, позволяющей на современном уровне проводить мониторинг и инженерные изыскания.

Режим микробиологического дыхания, как показатель экологического состояния почвы, подчиняется основным закономерностям изменения общего дыхания почвы. Сезонная и суточная динамика почвенного дыхания (по выделению CO_2) зависит от типа экосистемы, вида землепользования и биоклиматического пояса, определяющих, в свою очередь, биологическую активность и термодинамические

условия протекания процесса (температура, влажность почвы). Пределы изменчивости эмиссии углекислого газа характерны для каждого зонального типа и подтипа почвы, находящейся на определенном геоморфологическом элементе местности, в определенной экспозиции, в условиях покрытого лесом или открытого пространства. Изменчивость эмиссии не стирает специфических признаков, определяющих состав микробонаселения отдельных почвенных типов. В пределах летнего сезона можно отчетливо выделить период относительной стабилизации жизнедеятельности, совпадающий с вегетационным периодом. Поступление в почву органического вещества как источника энергии и строительного материала для микроорганизмов в этот период ограничено. Для периода характерно преобладание олиготрофных микроорганизмов с умеренными потребностями в пище. Активизация микроорганизмов произойдет осенью при поступлении органики в почву с растительным опадом. Поэтому именно период вегетации целесообразно использовать для оценки дыхания микроорганизмов.

Исследованиями установлено, что дыхание почвы без растительности (живых корней) изменяется в течение дня незначительно (Молчанов, 2006). Соответственно, определяя чисто микробиологическое дыхание, следует освобождать пробы почвы от корней и беспозвоночных (Сапронов и др., 2007). Многофакторность зависимости эмиссии CO_2 при проведении инженерных изысканий нивелируется учетом фундаментальных экологических основ функционирования почвы как системы. Общеизвестно, что равновесие почвенных экосистем является относительным и имеет характер сукцессии – последовательной смены групп доминирующих популяций микроорганизмов. В период проведения изысканий почва находится на каком-то, неизвестном нам, этапе сукцессии. Для более полной характеристики сукцессионных изменений, протекающих в гумидных почвах, образ-

цы следует привести к начальному этапу сукцессии (Алехина, 2001). В лабораторных условиях проводят десорбцию почвы от корней растений, образец высушивают, а затем уже инициируют сукцессию микробных сообществ увлажнением почвы. Сроки сохранения исходного микробного биоразнообразия при высушивании почвы составляют 2-3 месяца (Алехина, 2001; Грунты. Отбор..., 2014; Методические указания..., 1999), что вполне достаточно для проведения исследований в камеральных условиях. Такая «стандартизация» условий позволяет нивелировать исходные различия образцов почвы и их микрофлоры.

Вертикальное распределение биогенных источников CO_2 в почве в большинстве случаев носит характер монотонного убывания с глубиной. С глубины 0,2 м наблюдается практически постоянная биологическая активность почвы, связанная с распределением почвенного органического вещества (субстратов), корней и микробной массы (Смагин, 2005). Пробы почвы при изысканиях рекомендуется отбирать с глубины 0,2 м.

Определение величины эмиссии CO_2 следует производить из двух проб почв: первой, отобранной в пределах изучаемого типа почвы на территории изысканий, второй – на «фоновом» участке аналогичного типа почв (Методические ..., 1999). Фоновые участки отбора проб почвы должны находиться вне зоны действия источников загрязнения на расстоянии не менее 10-15 км, за пределами сектора господствующих ветров, на аналогичном геоморфологическом элементе местности (водораздел, склон, долина), обладать сходными характеристиками почв исследуемого при изысканиях участка (Гришина и др., 1991). Такие почвы, как правило, находятся в пределах особо охраняемых природных территорий, которых в конкретной природно-климатической зоне достаточно много. Например, средняя эмиссия для лесной экосистемы Центрально-Черноземного заповедника в Курской области составляет 40 г

CO_2 м²/день (Тембо и др., 2014). Отбор проб почв на эталонном и изучаемом участке производится с минимально возможным интервалом времени, не более двух-трех суток, в период положительных температур приземного слоя воздуха и дневные часы, что подтверждается работами ведущих российских ученых (Головацкая и др., 2011). На каждом изучаемом участке отбирают 5 образцов почвы. Точки отбора должны быть расположены так, чтобы мысленно соединенные прямыми линиями давали рисунок запечатанного конверта (длина стороны квадрата может составлять от 2 до 5 – 10 м). Отобранные элементарные пробы соединяют в одну валовую, тщательно перемешанную пробу по методу квартования (Грунты. Методы..., 2014), которая характеризует не точку, а площадь почвенной разности.

Сравнение результатов эмиссии углекислого газа показывает отклонение экологических функций исследуемого участка почвы от эталонных (фоновых) зональных значений. Изменения активности микробиологического дыхания по сравнению с зональными значениями и соответственно экологическое состояние почв рекомендуется дифференцировать по следующим категориям: до 10 % – допустимые (гомеостатические) изменения; 10-20 % – пороговые (стрессовые, предпатогенные); 20-30 % – резистентные и более 30 % – необратимые (патологические) (Гузев, 1988; Гузев и др., 1980). Исследователями установлено, что снижение биологической активности почвы более чем на 30% означает значительное нарушение экологических функций почвы, утрату ею биоэнергетического потенциала и способности к воспроизводству своих основных природно-ресурсных свойств (Яковлев и др., 2011). Другие авторы приводят близкие значения, отмечая, что необратимые изменения в состоянии почв и земель наступают при утрате более четверти их биологического потенциала, определяемого по величине отклонений свойств почв и земель от их фоновых значений, и адекватны сложившейся в рамках кон-

кретной территории антропогенной нагрузке (Яковлев, 2013).

Классификацию предлагаемого экологического состояния почв по активности микробиологического дыхания в общем виде подтверждают многие исследователи. В работе С.И. Колесникова с соавторами (2007) предложена схема нормирования антропогенного воздействия на почву. В качестве критерия степени нарушения экологических функций почвы предлагается использовать интегральный показатель биологического состояния почвы (ИПБС), определяемый на основе набора наиболее информативных биологических показателей. Если значения ИПБС уменьшились менее чем на 10 %, то почва выполняет свои основные экологические функции нормально; если снижение составляет 10-25 %, то происходит нарушение биохимических, физико-химических и химических функций; если более 25 %, то нарушаются физические функции. Недостатком этого метода является сложность определения целого ряда специфических показателей, что нецелесообразно при выполнении инженерных изысканий как вида градостроительной деятельности.

В целом точность полученных результатов при использовании активности микробиологического дыхания вполне соответствует детальности инженерно-экологических изысканий. Использование портативного газоанализатора ПГА-7, который предназначен для определения содержания CO_2 в газовых пробах в диапазоне концентраций 0-2% CO_2 , существенно упрощает проведение анализа проб почвы.

Микробиологические индикаторы, позволяющие фиксировать не наличие отдельных химических элементов, а интегральный отклик живых организмов на комплексное воздействие, являются чувствительными, достаточно простыми в определении и характеризуют значительные площади зональных почв в составе биогеоценозов. Предлагаемый подход к оценке экологического состояния зональ-

ной почвы при инженерно-экологических изысканиях позволяет актуализировать нормативно-методическую документацию, является одним из первых, но не окончательным. Внедрение показателя в практику изысканий будет наиболее эффективным после создания системы мониторинга основных разновидностей почв, расположенных в пределах фоновых участков особо охраняемых природных территорий. В соответствии со статьей 62 закона «Об охране окружающей среды» (2002) учреждаются Красные книги почв субъектов Российской Федерации, которые обеспечат создание регионального банка данных. Показатель экологического состояния почвы основан на фундаментальных законах экологии и через активность дыхания микробного сообщества отражает интегральные условия существования всего зонального биогеоценоза на период исследования.

Выводы

1. В соответствии с нормативными документами по инженерно-экологическим изысканиям оценка современного состояния почв проводится как ресурса, а не экологической системы в составе биогеоценоза. Определяемые физические и химические показатели состояния почв не позволяют оценить почву как систему и разработать достоверный прогноз изменений в результате планируемой хозяйственной деятельности.

2. В качестве показателя экологического состояния почвы предлагается использовать активность дыхания почвенных микроорганизмов, определяющую зональные значения средообразующей функции почв. Показатель основан на фундаментальных законах экологии, отражает комплекс биотических и абиотических условий в конкретном зональном типе почв умеренного климата на период проведения инженерно-экологических изысканий.

3. Классификация экологического состояния почв производится по изменению

активности микробиологического дыхания исследуемых почв при сравнении с эталонными (фоновыми) зональными значениями.

4. Создание регионального банка данных по активности микробиологического дыхания основных разновидностей почв фоновых участков на особо охраняемых природных территориях, позволит рекомендовать использование показателя для актуализации нормативной документации по инженерно-экологическим изысканиям и существенно повысить качество работ в соответствии с требованиями природоохранного законодательства Российской Федерации.

Библиографический список

- Алехина Л.К.* Изучение микробного разнообразия почв с помощью сукцессионного анализа: дис. ... канд. биол. наук. М., 2001. 137 с.
- Булгаков Н.Г.* Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды. Обзор существующих подходов // Усп. соврем. биол. 2002. Т. 122, № 2. С. 115–135.
- Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений. Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
- Головацкая Е.А., Дюкарев Е.А.* Сезонная и суточная динамика эмиссии CO₂ с поверхности олиготрофной торфяной почвы // Метеорология и гидрология. 2011. № 6. С. 84–93.
- Головченко А.В., Тихонова Е.Ю., Звягинцев Д.Г.* Численность, биомасса, структура и активность микробных комплексов низинных и верховых торфяников // Микробиология. 2007. Т. 76. № 5. С. 711–719.
- Гришина Л.А., Копчик Г.Н., Могрун Л.В.* Организация и проведение почвенных исследований для экологического мониторинга. М.: Изд-во МГУ, 1991. 82 с.
- Грунты.* Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава: ГОСТ 12536-2014.
- Грунты.* Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов: ГОСТ 12071-2014.
- Гузев В.С.* Экологическая оценка антропогенных воздействий на микробную систему почвы: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1988. 38 с.
- Гузев В.С., Бондаренко Н.Г., Бызов Б.А., Мирчинк Т.Г., Звягинцев Д.Г.* Структура иницированного микробного сообщества как интегральный метод оценки микробиологического состояния почвы // Микробиология. 1980. Т. 49. № 1. С. 134–140.
- Добровольская Т.Г., Лысак Л.В., Звягинцев Д.Г.* Почвы и бактериальное разнообразие // Почвоведение. 1996. №6. С. 699–704.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.* Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы. Функционально-экологический подход. М.: Наука, 2000. 185 с.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.* Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука, 1990. 260 с.
- Дыхание почвы:* сб. науч. трудов / под ред. Г.А. Заварзина Пушкино, 1993. 144 с.
- Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н.* Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестник Российской академии наук. 2006. Т. 76. № 1. С. 14–29.
- Звягинцев Д.Г., Гузев В.С., Левин С.В., Селецкий Г.И., Оборин А.А.* Диагностические признаки различных уровней загрязнения почвы нефтью // Почвоведение. 1989. № 1. С. 72–78.
- Звягинцев Д.Г., Добровольская Т.Г., Полянская Л.М., Чернов И.Ю.* Теоретические основы экологической оценки микробных ресурсов почв // Почвоведение. 1994. № 4. С. 65–73.
- Инженерно-экологические изыскания для строительства:* СП 11-102-97. М.: Госстрой РФ, 1997.
- Инженерные изыскания для строительства.* Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96: СП 47.13330.2012. М., 2012.
- Каменищикова В.И.* Экологическое состояние и устойчивость почв таежно-лесной зоны к антропогенным воздействиям // Вестник Пермского университета. Биология. 2011. Вып.1. С. 64–67.
- Караваева Т.И., Тихонов В.П.* Оценка состояния природной среды при инженерно-экологических изысканиях по функциональным характеристикам биогеоценозов // Вестник Пермского государственного университета. Геология. 2016. Вып. 2(31). С. 91–99.

- Кобак К.И.* Биотические компоненты углеродного цикла. М.: Гидрометсиздат, 1988. 248 с.
- Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф.* Экологическое состояние и функции почв в условиях химического загрязнения. Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2006. 385 с.
- Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф., Денисова Т.В.* Нормирование загрязнения почв на основе нарушения их экологических функций // Экология и промышленность России. 2007. № 11. С. 48–51.
- Кривенко В.Г.* Государственный учет, кадастр и мониторинг животного мира России – проблемы нормативно-правового обеспечения: доклад проф. В.Г. Кривенко в рамках конференции «Проблемы нормативно-правового обеспечения сохранения и восстановления биологического разнообразия при осуществлении хозяйственной деятельности» (Совет Федерации, 27.02.2014)
URL: http://www.ecoexpertcenter.ru/info/problemu_normativno_pravovogo_obespecheniya_sohraneniya_i_vosstanovleniya_biologicheskogo_raznobraziya_pri_osuschestvlenii_hozyaystvennoy_deyatelnosti_sovet_federacii_27_02_2014_221.html
- Левин С.В., Гузев В.С., Асеева И.В., Бабьева И.П., Марфенина О.Е., Умаров М.М.* Тяжелые металлы как фактор антропогенного воздействия на почвенную микробиоту // Микроорганизмы и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. С. 5–46.
- Методические указания.* Охрана природы. Почвы. Методы отбора объединенных проб почвы и оценки загрязнения сельскохозяйственного угодья остаточными количествами пестицидов: РД 52.18.156-99.
- Методы микробиологического контроля почв:* метод. Рекомендации / Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. М., 2004. 21 с.
- Молчанов А.Г.* Углекислотный баланс в биогеоценозах в зависимости от изменяющихся факторов окружающей среды // Идеи биогеоценологии в лесоведении и лесоразведениях / ред. С.Э. Вомперский. М.: Наука, 2006. С. 230–251.
- Наумов А.В.* Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Томск, 2004. 37 с.
- Об охране окружающей среды:* Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ.
- Сапронов Д.В., Кузяков Я.В.* Разделение корневого и микробного дыхания: сравнение трёх методов // Почвоведение. 2007. № 7. С. 862–872.
- Скворцова И.Н., Ли С.К., Ворожейкина И.П.* Зависимость некоторых показателей биологической активности почв от уровня концентрации тяжелых металлов // Тяжелые металлы в окружающей среде. М., 1980. 121 с.
- Смагин А.В.* Газовая фаза почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 301 с.
- Стефурак В.П.* Влияние техногенного загрязнения на численность и состав микробных сообществ почв. Киев, 1982. 230 с.
- Тембо А., Самарджич М., Васенев В.И., Рыжков О.В., Морев Д.В., Васенев И.И.* Анализ основных факторов, влияющих на почвенную эмиссию углекислого газа черноземами Стрелецкой степи // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 2. URL: <http://www.science-education.ru/pdf/2014/2/599.pdf>
- Терехова В.А.* Микромицеты в экологической оценке водных и наземных экосистем. М.: Наука, 2007. 215 с.
- Экологическая доктрина Российской Федерации.* Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 августа 2002 г. № 1225р. URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=133908>.
- Яковлев А.С.* Научно-правовые аспекты экологической оценки и нормирования почв и земель как самостоятельных компонентов окружающей среды // Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред: тез. докл. Междунар. конф. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 250 с.
- Яковлев А.С., Евдокимова М.В.* Экологическое нормирование почв и управление их качеством // Почвоведение. 2011. № 5. С. 582–597.
- Bloem J., Hopkins D.W., Benedetti A.* Microbiological methods for assessing soil quality // CAB International. 2006.
- Böhme Livia.* Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European longterm field experiments // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2005. Vol. 109, № 1-2. P. 141–152.
- Coleman D.C.* Compartmental analysis of total respiration: an exploratory study // Oikos. 1972. Vol. 24, №3. P. 361–366.

Nannipieri P. Microbial diversity and soil functions // *European Journal of Soil Science*. 2003.

Vol. 54, № 3. P. 665–670.

The Environmental Justification for the Use of Microbial Respiration Activity for Soil Quality Assessment in Engineering and Environmental Studies

T.I. Karavaeva, V.P. Tikhonov

Natural Sciences Institute of the Perm State University, 4 Genkelya Str., Perm 614990, Russia. E-mail: georisk@psu.ru

The regulation documentation for engineering and environmental survey assesses the soil as a resource, but not as a natural system with habitat functions. According to results of analysis of theoretical foundation of the functioning of biotic communities, it is proposed to estimate the ecological soil quality by the change of microbial respiration activity compared with baseline values of zonal soils.

Key words: engineering and environmental studies; soil assessment; integral index; habitat functions; microbial respiration.

References

Alekhina L.K. 2001. Izucheniye mikrobnogo raznoobraziya pochv s pomoshchyu suktsessionnogo analiza [The study of microbial soil diversity using succession analysis]. Dis. kand. biol. nauk. Moskva, p. 137. (in Russian)

Bulgakov N.G. 2002. Indikatsiya sostoyaniya piridnykh ekosistem i normirovanie faktorov okruzhayushchey sredy. Obzor sushchestvuyushchikh podkhodov [Indication of the state of natural ecosystems and evaluation of environmental factors. Review of current approaches]. *Usp. Sovrem. Boil.* 122(2):115-135. (in Russian)

Vorobeychik E.L., Sadykov O.F., Farafontov M.G. 1994. Ekologicheskoe normirovaniye tekhnogennykh zagryazneniy [Environmental regulation of technogenic pollution]. Yekaterinburg, Nauka, p. 280. (in Russian)

Golovatskaya E.A., Dyukarev E.A. 2011. Sezonnaya i sutochnaya dinamika emissii CO₂ s poverkhnosti oligotrofnoy torfyanoy pochvy [Seasonal and diurnal dynamics of CO₂ emission from the surface of oligotrophic peat soil]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 6:84-93. (in Russian)

Golovchenko A.V., Tikhonova E.Yu., Zvyagintsev D.G. 2007. Chislennost, biomassa, struktura i aktivnost mikrobnyykh kompleksov nizinykh i verkhovykh torfyanikov [Abundance, biomass, structure and activity of microbial com-

plexes of lowland and upland peat bogs]. *Mikrobiologiya*. 76(5):711-719. (in Russian)

Grishina L.A., Koptsik G.N., Mogrun L.V. 1991. Organizatsiya i provedenie pochvennykh issledovaniy dlya ekologicheskogo monitoringa [Organization and conducting of the soil study for environmental monitoring]. Moskva, MGU, p. 82. (in Russian)

Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya granulometricheskogo (zernovogo) i mikroagregatnogo sostava [Soils. Methods of laboratory testing of the granulometric (grain size) and microaggregate composition]. GOST 12536-2014. (in Russian)

Grunty. Otbor, upakovka, transportirovanie i khraneniye obraztsov [Soils. Sampling, packing, transportation and storage of samples]. GOST 12071-2014. (in Russian)

Guzev V.S. 1988. Ekologicheskaya otsenka antropogennykh vozdeystviy na mikrobnuyu sistemu pochvy [Environmental assessment of anthropogenic impacts on soil microbial system]. Dis. Doc. biol. nauk. Moskva. (in Russian)

Guzev V.S., Bondarenko N.G., Byzov B.A., Mirchink T.G., Zvyagintsev D.G. 1980. Struktura initsirovannogo mikrobnogo soobshchestva kak integralnyy metod otsenki mikrobiologicheskogo sostoyaniya pochvy [The structure of the initiated microbial community as an integral method for assessing the microbiological condition of the soil]. *Mikrobiologiya*. 49(1):134-140. (in Russian)

- Dobrovolskaya T.G., Lysak L.V., Zvyagintsev D.G.* 1996. Pochvy i bakterialnoe raznoobra- zie [Soils and bacterial diversity]. Pochvovedenie. 6:699-704. (in Russian)
- Dobrovolskiy G.V., Nikitin E.D.* 2000. Sokhranenie pochv kak nezamenimogo kom- ponenta biosfery. Funktsionalno- ekologicheskii podkhod [Conservation of soil as an indispensable component of biosphere. Functional-ecological approach]. Moskva, Nauka, p. 185. (in Russian)
- Dobrovolskiy G.V., Nikitin E.D.* 1990. Funktsii pochv v biosfere i ekosistemakh [Soil func- tions in the biosphere and ecosystems]. Mos- kva, Nauka, p. 260. (in Russian)
- Dykhanie pochvy* [Soil respiration]. In Sbornik nauch. trudov. Zavarzina G.A. (Ed.) 1993. Pushchino, p. 144. (in Russian)
- Zavarzin G.A., Kudryarov V.N.* 2006. Pochva kak glavnyy istochnik uglekisloty i rezervuar or- ganicheskogo ugleroda na territorii Rossii [The soil is the main source of carbon dioxide and a reservoir of organic carbon on the terri- tory of Russia]. Vestnik Rossiyskoy akademii nauk. 76(1):14-29. (in Russian)
- Zvyagintsev D.G., Guzev V.S., Levin S.V., Seletskiy G.I., Oborin A.A.* 1989. Diag- nosticheskie priznaki razlichnykh urovney zagryazneniya pochvy neftyu [The diagnostic indicators of the oil soil contamination of var- ious range]. Pochvovedenie. 1:72-78. (in Rus- sian)
- Zvyagintsev D.G., Dobrovolskaya T.G., Polyan- skaya L.M., Chernov I.Yu.* 1994. Teoretiches- kie osnovy ekologicheskoy otsenki mikrobn- nykh resursov pochv [Theoretical basis of the environmental assessment of soil microbial resources]. Pochvovedenie. 4:65-73. (in Rus- sian)
- Inzhenerno-ekologicheskii izyskaniya dlya stroitelstva* [Engineering and environmental surveys for construction]. SP 11-102-97. 1997. Moskva, Gosstroy RF. (in Russian)
- Inzhenernye izyskaniya dlya stroitelstva. Osnov- nye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 11-02-96* [Engineering sur- vey for construction. The main provisions. The updated edition SNIIP 11-02-96]. SP 47.13330.2012. 2012. Moskva, Minregion Rossii. (in Russian)
- Kamenshchikova V.I.* 2011. Ekologicheskoe sostoyanie i ustoychivost pochv tayozhno- lesnoy zony k antropogennym vozdeystvi- yam [Ecological condition and stability of the soils of the taiga-forest zone to anthro- pogenic influences]. Vestnik Permskogo universiteta. Biologiya. 1:64-67. (in Rus- sian)
- Karavaeva T.I., Tikhonov V.P.* 2016. Otsenka sostoyaniya prirodnoy sredy pri inzhenerno- ekologicheskikh izyskaniyakh po funktsional- nym kharakteristikam biogeotsenozov [As- sessment of the state of the environment in engineering and environmental studies using the functional characteristics of ecosystems]. Vestnik Permskogo Universiteta. Geologiya. 2(31):91-99. (in Russian) doi: 10.17072/ psu.geol.31.91
- Kobak K.I.* 1988. Bioticheskie komponenty uglerodnogo tsikla [Biotic components of the carbon cycle]. Moskva, Gidrometsoizdat, p. 248. (in Russian)
- Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Valkov V.F.* 2006. Ekologicheskoe sostoyanie i funktsii pochv v usloviyakh khimicheskogo zagryazneniya [Ecological state and functions of soils in conditions of chemical pollution]. Rostov-na- Donu, Rostizdat, p. 385. (in Russian)
- Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Valkov V.F., Den- isova T.V.* 2007. Normirovanie zagryazneniya pochv na osnove narusheniya ikh ekologicheskikh funktsiy [Normalization of soil contamination on the basis of disturbance of their ecological functions]. Ekologiya i promyshlennost Rossii. 11:48-51. (in Russian)
- Krivenko V.G.* 2014. Gosudarstvennyy uchet, kadastr i monitoring zhivotnogo mira Rossii – problemy normativno-pravovogo obespeche- niya [State accounting, cadastre and monitor- ing of wildlife in Russia - regulatory and legal problems]. Doklad prof. Krivenko V.G. v ramkah konferentsii «Problemy normativno- pravovogo obespecheniya sohraneniya i vos- stanovleniya biologicheskogo raznoobraziya pri osushchestvlenii hozyay-stvennoy deyatelnosti» (Sovet Federatsii, 27.02.2014). URL: [http://www. ecoexpertcenter.ru/info /problemy_normativno_ppravovogo_obespeche niya_sohraneniya_i_vosstanovleniya_biologi- cheskogo_raznoobraziya_pri_osuschestvlenii_ hozyay-stvennoy_deyatelnosti_sovet_federa- cii_-27_02_2014_221.html](http://www.ecoexpertcenter.ru/info/problemy_normativno_ppravovogo_obespeche niya_sohraneniya_i_vosstanovleniya_biologi- cheskogo_raznoobraziya_pri_osuschestvlenii_ hozyay-stvennoy_deyatelnosti_sovet_federa- cii_-27_02_2014_221.html). (in Russian)
- Levin S.V., Guzev V.S., Aseeva I.V., Babeva I.P., Marfenina O.E., Umarov M.M.* 1989. Tya- zhelye metally kak faktor antropogennogo vozdeystviya na pochvennyu mikrobiotu [Heavy metals as anthropogenic impact on the soil microbiota]. In Mikroorganizmy i okhrana pochv. Moskva, MGU, 5-46. (in Rus- sian)

- Metodicheskie ukazaniya. Okhrana prirody. Pochvy. Metody otbora obyedinennykh prob pochvy i otsenki zagryazneniya selskokhozyaystvennogo ugodya ostatochnymi kolichestvami pestitsidov* [Methodical instructions. Protection of Nature. Soil. Methods for soil selecting pooled sampling and estimating contamination of agricultural land with residual amounts of pesticides]: RD 52.18.156-99. (in Russian)
- Metody mikrobiologicheskogo kontrolya pochvy. Metodicheskie rekomendatsii* [Methods of microbiological soil control. Guidelines]. 2004. M.: Federalnyy tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, p. 21. (in Russian)
- Molchanov A.G.* 2006. Uglekislotnyy balans v biogeotsenozakh v zavisimosti ot izmenyayushchikhsya faktorov okruzhayushchey sredy [Carbon dioxide balance in biogeocenoses depending on changing of environmental factors]. In *Idei biogeotsenologii v lesovedenii i lesorazvedenii*. S.E. Vomperskiy (Ed.). Moskva. Nauka, pp. 230-251. (in Russian)
- Naumov A.V.* 2004. Dykhanie pochvy: sostavlyayushchie, ekologicheskie funktsii, geograficheskie zakonomernosti [Soil respiration: constituents, ecological functions, geographical regularities]. Diss. dokt. biol. nauk. Tomsk. (in Russian)
- Ob okhrane okruzhayushchey sredy* [On the protection of the environment]. Federalnyy zakon ot 10.01.2002 № 7-FZ. (in Russian)
- Sapronov D.V., Kuzyakov Ya.V.* 2007. Razdelenie kornevogo i mikrobnogo dykhaniya: sravnenie tryokh metodov [Separation of root and microbial respiration: a comparison of three methods]. *Pochvovedenie*. 7:862-872. (in Russian)
- Skvortsova I.N., Li S.K., Vorozheykina I.P.* 1980. Zavisimost nekotorykh pokazateley biologicheskoy aktivnosti pochv ot urovnya kontsentratsii tyazhelykh metallov [Dependence of some indicators of soils biological activity on the concentration of heavy metals]. In *Tyazhelye metally v okruzhayushchey srede*. Moskva, p. 121. (in Russian)
- Smagin A.V.* 2005. Gazovaya faza pochv [Gas phase of soils]. Moskva, MGU, p. 301. (in Russian)
- Stefurak V.P.* 1982. Vliyanie tekhnogennogo zagryazneniya na chislennost i sostav mikrobnokh soobshchestv pochv [Influence of technogenic pollution on the number and composition of microbial communities of soils]. Kiev, p. 230. (in Russian)
- Tembo A., Samardzhich M., Vasenev V.I., Ryzhkov O.V., Morev D.V., Vasenev I.I.* 2014. Analiz osnovnykh faktorov, vliyayushchikh na pochvennyuyu emissiyu uglekislogo gaza chernozemami Streletskoy stepi [Analysis of the main factors affecting the soil emission of carbon dioxide by the chernozems of the Streletsky steppe]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2. URL: <http://www.science-education.ru/pdf/2014/2/599.pdf>. (in Russian)
- Terekhova V.A.* 2007. Mikromitsety v ekologicheskoy otsenke vodnykh i nazemnykh ekosistem [Micromycetes in the environmental assessment of aquatic and terrestrial ecosystems]. Moskva, Nauka, p. 215. (in Russian)
- Ekologicheskaya doktrina Rossiyskoy Federatsii* [Ecological Doctrine of the Russian Federation]. Rasporyazhenie Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 31 avgusta 2002 g. № 1225-r. URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=133908>. (in Russian)
- Yakovlev A.S.* 2013. Nauchno-pravovye aspekty ekologicheskoy otsenki i normirovaniya pochv i zemel kak samostoyatelnykh komponentov okruzhayushchey sredy [Scientific and legal aspects of environmental assessment and evaluation of soils and lands as independent components of the environment]. In *Biodiagnostika v ekologicheskoy otsenke pochv i sopredelnykh sred*. Proc. of Mezhdunar. konf. Moskva, BINOM. Laboratoriya znaniy, p. 250. (in Russian)
- Yakovlev A.S., Evdokimova M.V.* 2011. Ekologicheskoe normirovanie pochv i upravlenie ikh kachestvom [Ecological regulation of soils and management of their quality]. *Pochvovedenie*. 5:582-597. (in Russian)
- Bloem J.* 2006. Microbiological methods for assessing soil quality. J. Bloem, D.W. Hopkins, A. Benedetti (Eds.). CAB International.
- Böhme Livia.* 2005. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European longterm field experiments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 109(1-2):141-152.
- Coleman D.C.* 1972. Compartmental analysis of total respiration: an exploratory study. *Oikos*. 24(3):361-366.
- Nannipieri P.* 2003. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*. 54(3):665-670.