

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ И ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ МИКРОБИОРЕМЕДИАЦИИ

С.В. Остах<sup>1</sup>, М.Е. Безруков<sup>2</sup>, О.С. Остах<sup>1</sup>

<sup>1</sup> РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина,  
РФ, Москва, Ленинский проспект, д. 65  
*E-mail: mironova\_Ok@mail.ru*

<sup>2</sup> Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (ННГУ),  
РФ, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23  
*E-mail: mik38@yandex.ru*

В статье рассмотрены организационные и методические подходы создания автоматизированной климатической системы (АКС), представляющей собой замкнутый комплекс с индивидуально настраиваемыми секциями. Представлены архитектура и базовые принципы создания АКС для тестирования и внедрения технологии микробиоремедиации (МБР-технологий). Предложена трехстадийная система проведения опытно-промышленных испытаний МБР-технологии, предполагающая последовательное использование АКС, специально выделенной территории в формате тестовой площадки и контрольного участка проекта рекультивации нарушенных земель.

**Ключевые слова:** автоматизация, углеводородное загрязнение, климат, мониторинг, биоремедиация, рекультивация.

Поступила в редакцию 12.04.2018.

**Введение.** Загрязнение почв различными органическими и неорганическими веществами, включая природные радионуклиды, является одной из сложных и многоплановых проблем экологии и охраны окружающей среды.

Технической и биологической рекультивации подлежат нарушенные земли всех категорий, включая земли, загрязненные нефтью и нефтепродуктами, а также прилегающие земельные участки, полностью или частично утратившие продуктивность в результате негативного воздействия хозяйственной деятельности [1].

Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что наиболее эффективным и безопасным методом биологической рекультивации является использование агрохимикатов, биопрепаратов и готовых смесей (рекультивантов) [2, 3].

В тоже время, существующие в России препараты оказываются недостаточно эффективными в различных экстремальных почвенно-климатических условиях различных регионов России, в связи с чем для ликвидации масштабных последствий загрязнения территорий необходим активный поиск и выделение

аборигенных штаммов и возможность изготовления конкурентно-способных биопрепаратов, отличающихся не только по качественным, но и по стоимостным характеристикам от используемых в настоящий момент [4].

Успешно развиваются МБР-технологии как самостоятельно, так и в системе охраны почв и природоохранных мероприятий [5].

Одним из способов эффективной очистки почв от тяжелых металлов является фиторемедиация. Фиторемедиация, метод высокоэффективной технологии очистки почв от ряда органических и неорганических поллютантов [6].

Применение определенного рекультиванта предусматривает оценку характера и количества загрязнения, выбор способа применения препарата и, при необходимости, приготовление рабочей суспензии препарата в тестовом формате. Указанные мероприятия предусматривают проведение стендовых и опытно-промышленных испытаний.

Результаты тестирования материалов и технических решений в приближенных к естественным условиям позволяют разрабатывать и модернизировать технологические схемы рекультивации

нарушенных и загрязненных территорий.

Основным ограничительным фактором, влияющим на достоверность указанной аналитической информации, является пробоотбор.

В настоящей работе тестирование и внедрение МБР-технологии предусматривает проведение комплекса последовательных организационных и технических мероприятий, включающих:

- определение базовых показателей образцов и биопрепарата (и его модификаций) с использованием автоматизированных систем (станций) искусственного климата;

- проведение опытно-промышленных испытаний МБР-технологии предполагает использование специально выделенной территории в формате тестовой площадки;

- внедрение апробированных МБР-технологий в системе природопользования и восстановления нарушенных территорий.

**1. Организационно-методические подходы.** Особую востребованность в тестировании технологий очистки и восстановления техногенно-нарушенных территорий, включая нефтезагрязненные земли, приобретают методы биологического тестирования с использованием, в том числе, и растительных тест-организмов.

Основными требованиями, отличающими методы биотестирования от других методов, являются экспрессность, доступность и простота модельных экспериментов; воспроизводимость и достоверность полученных результатов; экономичность, как в материальном отношении, так и по трудозатратам; объективность полученных данных.

Загрязнение почв, как правило, неравномерно, неоднородно, а также различается по фазовому состоянию. Кроме того, состав нарушенных земель изменяется во времени.

Фитотестирование, таким образом, опираясь на классические методы биологического тестирования с использованием в качестве тест-организмов гидробионтов, позволяет интегрально оценивать негативное действие среды. А дополненные методы фитотестирования

основными приемами фиторемедиации позволят не только тестировать, но и моделировать процессы биоремедиации загрязненных грунтов.

С целью многофакторной оценки остаточной фитотоксичности образцов почв, возможностей интенсифицировать процессы биодеградации нефти и улучшения агрофизических свойств почвы проводится развертывание автоматизированного комплекса, позволяющего воссоздать специальные микроклиматические условия («искусственный климат») с регулируемым световым режимом, подачей воды с дозировкой растворов биопрепаратов и температуры.

Для изучения механизма функционирования МБР-технологий необходима настраиваемая экспериментальная база, позволяющая имитировать все этапы реализации технологических карт, контролировать результаты математического моделирования и численных экспериментов с устанавливаемой воспроизводимостью.

Полевые эксперименты связаны с большими затратами времени и средств, а также с экологическими нарушениями при реабилитации техногенно-нарушенных территорий.

В состав АКС для проведения эколого-инжиниринговых исследований технологий реабилитации загрязненных территорий и компонентов окружающей природной среды должно входить блочно-модульное оборудование, позволяющее выполнять имитацию климатических условий: температуры, влажности, интенсивности излучения, скорости воздушных потоков.

АКС должна обеспечивать регулирование и поддержание всех параметров на заданном уровне посредством контрольно-измерительной аппаратуры. Это позволяет оптимизировать расход используемых материалов, резко уменьшить время контроля, скорость и результативность процессов рекультивации, а также генерировать технологические решения рекультивации нарушенных и загрязненных почв и грунтов на различных стадиях, в том числе и на скрининговом (первичном) этапе фитотестирования.

С помощью АКС целесообразно решать основные задачи установления

норм внесения химических мелиорантов, бактериальных препаратов и норм посева семян в искусственно регулируемых условиях. К ним относятся:

- воспроизведение климатических условий, соответствующих любой местности и любому времени года;

- выяснение влияния отдельных климатических факторов – облученности, спектрального состава излучения, температуры воздуха и почвы, относительной влажности и скорости движения воздуха, содержания в нем газов (в первую очередь углекислого и кислорода) и их совокупности на эффективность мероприятий по восстановлению плодородия почв;

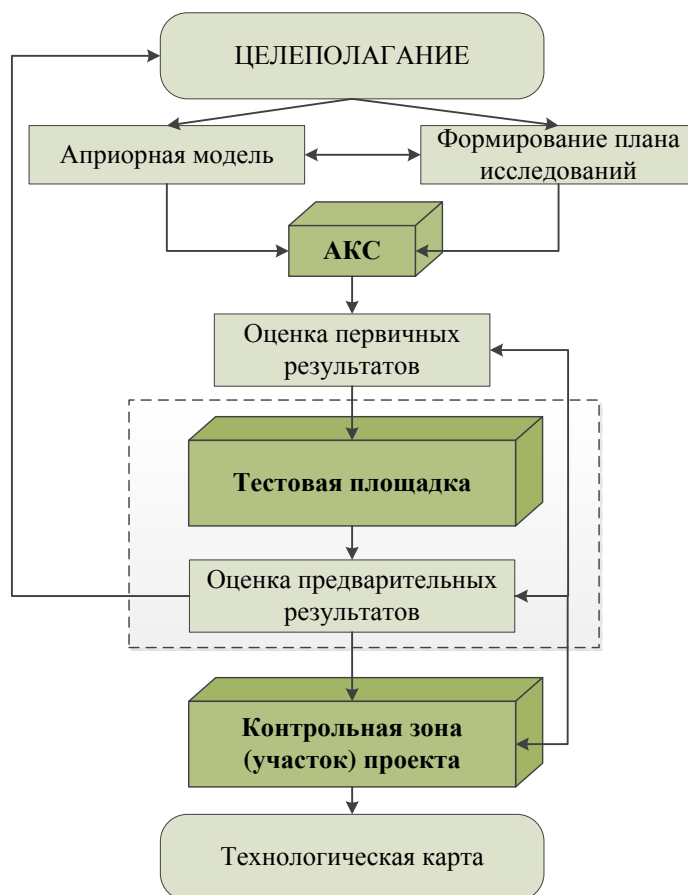
- разработка и внедрение методик ускорения агрофизических, агрохимических, биохимических исследований в воспроизводимых условиях среды и быстрое выявление устойчивости к

внешним неблагоприятным условиям пробного посева трав и фитомелиоративного с внесением минеральных удобрений и посевом устойчивых к загрязнению многолетних трав;

- определение и воспроизведение физиологических, биофизических и биохимических процессов в динамике и онтогенезе;

- фитопатологические и энтомологические исследования, разработка агротехнических и фитомелиоративных мероприятий.

Тестирование технологий очистки и восстановления техногенно нарушенных территорий целесообразно проводить в специальных микроклиматических унифицированных условиях с последовательным применением АКС, тестовой площадки и контрольного участка проекта рекультивации земель (рис. 1).



**Рис. 1.** Последовательность тестирования технологий очистки и восстановления техногенно нарушенных территорий

По результатам обобщенных данных почвенно-мелиоративных исследований и изыскательских работ, оценки степени нарушенности и загрязненности земель выбирается способ рекультивации, выполняется расчет норм внесения химических мелиорантов, бактериальных препаратов и норм посева семян для биологического этапа проекта рекультивации земель.

**2. Архитектура и базовые принципы создания АКС.** Архитектура АКС позволяет в полностью автоматическом и автоматизированном режимах управлять всеми известными типами исполнительных систем (рис. 2) со строгим соблюдением заданного алгоритмического исследовательского режима в опытно-промышленных масштабах, и представ-

ляющих результаты в виде технологических схем (карт).

АКС представляет собой организационно-техническую (интегрированную) систему, обеспечивающую комплексное автоматизированное управление и полное воспроизведение климата отдельных районов проведения рекультивации или, наоборот, детальное изучение влияния на растения какого-нибудь одного изучаемого фактора, его качества, интенсивности, продолжительности, последовательности и, наконец, оптимальной их совокупности на основе единой универсальной технологии сбора, обработки, хранения и использования мультипараметрических эколого-аналитических данных.

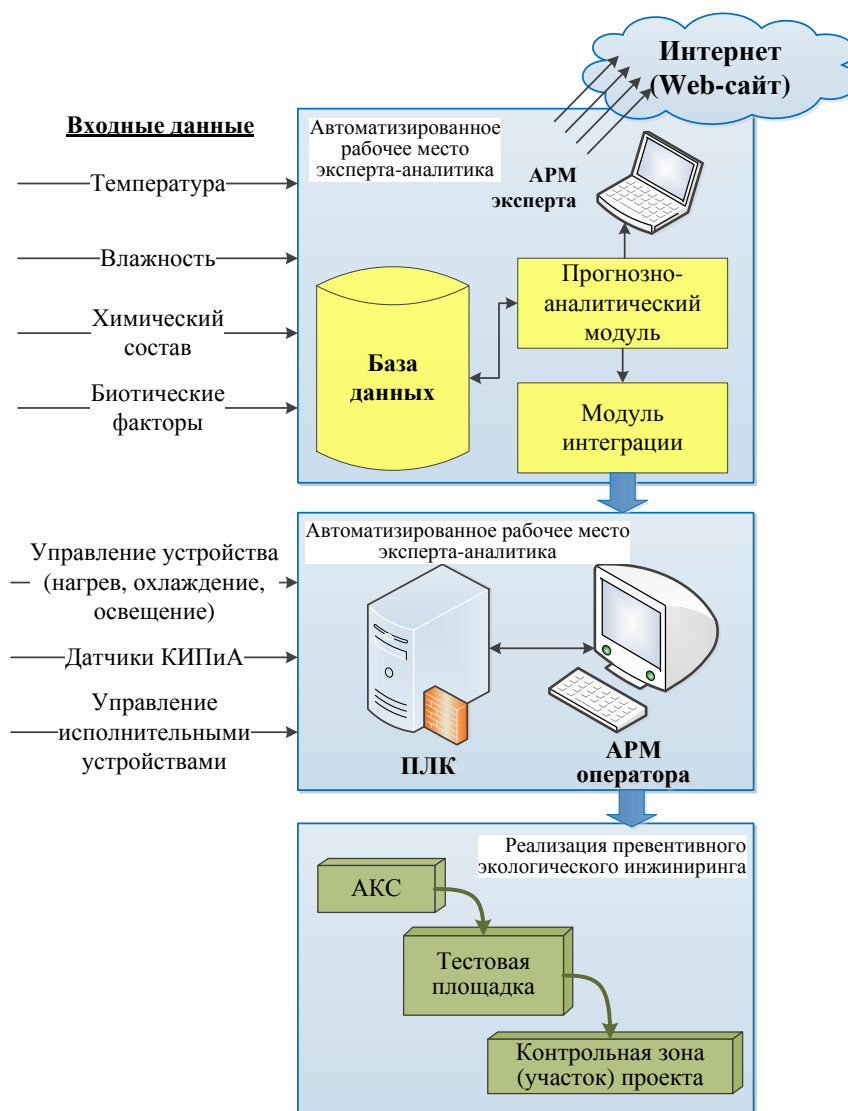


Рис. 2. Архитектура АКС

Организация создания АКС основывается на следующих базовых принципах:

- принцип «открытости» – исследователю должна быть предоставлена возможность выбора используемых ресурсов, построенных на единых методических принципах и положениях, включая одновременно контролируемых тест-функций;
- принцип «многоаспектности» – аналитические измерения могут пред-

ставлены в разных реализуемых проектах за счет использования единых стандартов на форматы представления данных исследований и изыскательских работ;

- «модульно-блочный» принцип организации, предусматривающий модульность комплекса технических средств и открытые интерфейсы встраиваемой информационно-аналитической системы (рис. 3);

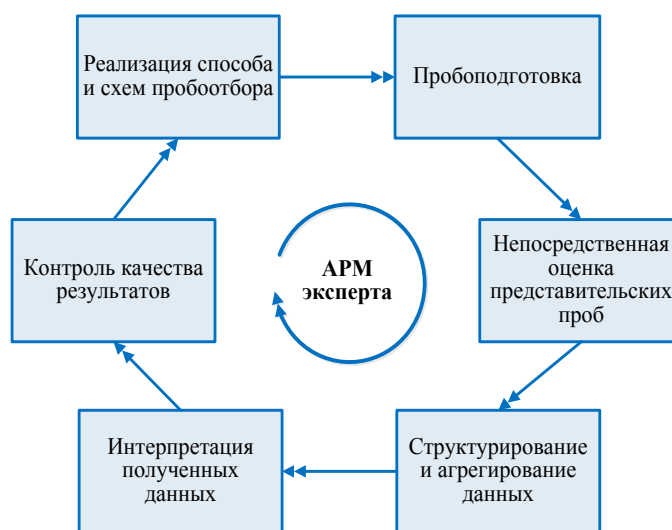


Рис. 3. Структура информационно-аналитической системы АКС

- принцип «масштабируемости» – отсутствие ограничений на масштаб объекта исследований и возможность подключения тематических секций для установления потенциальных возможностей;

- принцип «динамичности» – информация должна постоянно обновляться исходя из задач оценки достоверности и интерпретации данных, их корректного интерактивного и полноценного использования и архивирования;

- принцип «приемлемого риска» – применение риск-ориентированного подхода в целях принятия экологически эффективных управленческих решений;

- «практико-ориентированность» содержания и способов реализуемых проектов, созданных на основе практического и методического опыта, добиваясь при этом реализации критерия «эффективность-стоимость»;

- принцип «лучших практик» – использование передового отечественного и зарубежного опыта для улучшения качества окружающей среды и обеспечения экологической безопасности, внедрение наилучших доступных технологий и инновационных экологически эффективных технологий охраны почв и рекультивации загрязненных земель;

- принцип «постоянного совершенствования» – постоянное совершенствование системы управления охраной окружающей среды и экологической безопасностью посредством применения целевых показателей и маркеров с получением интегральной и дискретной оперативной информации.

На основе базовых принципах возможно создать прикладные информативные аналитические системы экологического мониторинга и более эффективную систему реабилитации нарушенных территорий и реализации превентивного экологического инжиниринга.

**Заключение.** Практическая реализация рассмотренного подхода автоматизации тестирования и информатизация внедрения МБР-технологий в соответствии с рассмотренными принципами дает возможность улучшить сложившуюся экологическую ситуацию в соответствии наилучшими европейскими и отечественными практиками, предусматривая:

– выявление данных о содержании и распределении данных о характерных загрязнителях в природных матрицах, динамике самоочищения почвы как в качественном, так и в количественном аспектах;

– систематизацию достоверных сведений для принятия решений по восстановлению нарушенных и загрязненных земель и компонентов окружающей природной среды;

– обобщение данных о результативности проведенного комплекса мероприятий по охране и воспроизводству земель и эффективному использованию плодородного слоя почвы.

Эколого-аналитический мониторинг опытно-промышленного использования перспективных биотехнологий на базе АКС позволит оптимизировать время проведения исследований и осуществлять адаптацию технологических приемов и технических решений для конкретных почв и грунтов, а также решать и другие внедренческие задачи технологического инжиниринга, направленные на сокращение площади загрязнений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Основные положения о рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы* (утв. Минприроды России и Роскомзема от 22 декабря 1995 г. № 525/67).

2. *Методы почвенной микробиологии и биохимии* / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.

3. *Инжиниринговая интерактивная система по обезвреживанию нефтесодержащих отходов, загрязненных природными радионуклидами* / С.В. Мещеряков, С.В. Остах, О.С. Остах [и др.] // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 9. С. 46–51.

4. *Ерофеевская Л.А.* Изучение процессов биодegradации нефтезагрязнений под воздействием различных форм ремедиантов // Успехи современной науки. 2016. Т. 7. № 10. С. 10–14.

5. *Силищев Н.Н.* Микробиологические технологии в процессах ремедиации природных и техногенных объектов: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Уфа, 2009. 48 с.

6. *Мязин В.А.* Разработка способов повышения эффективности биоремедиации почв Кольского севера при загрязнении нефтепродуктами (в условиях модельного эксперимента): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Апатиты, 2014. 25 с.

## TEST AUTOMATION AND INFORMATIZATION TECHNOLOGY IMPLEMENTATION OF MICROBIOLOGICAL MONITORING

S.V. Ostakh<sup>1</sup>, M.E. Bezrukov<sup>2</sup>, O.S. Ostakh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), 65 Leninsky Prospekt, Moscow, 119991, Russian Federation

<sup>2</sup> Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (UNN), 23 Prospekt Gagarina (Gagarin Avenue) BLDG 2, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation

This article provides organization and method guidelines for constructing automated climate system (ACS), a closed-loop system with adjustable sections designed for micro-bioremediation processes engineering and testing. Architecture and basic principles are considered to ACS unit designing. Finally, a three-stage complex is proposed for conducting micro-bioremediation pilot studies, involving consistent sequential use of the ACS, a special pilot test site within the complex, and a control and measuring point, all contributing to land remediation projects.

**Keywords:** automation, hydrocarbon pollution, climate, monitoring, bioremediation, rehabilitation.