

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
РОССИЙСКОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
РАДИОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ ИМ. А.С. ПОПОВА
МОСКОВСКОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
РАДИОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ ИМ. А.С. ПОПОВА**

**ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ ИМ. В.А.
КОТЕЛЬНИКОВА РАН**

**MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF RUSSIA
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
THE RUSSIAN SCIENCES ENGINEERING A.S. POPOV SOCIETY FOR
RADIO, ELECTRONICS AND COMMUNICATION
THE MOSCOW SCIENCES ENGINEERING A.S. POPOV SOCIETY FOR
RADIO, ELECTRONICS AND COMMUNICATION
V.A. KOTELNIKOV'S INSTITUTE OF RADIOENGINEERING &
ELECTRONICS, RAS**

МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА

ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ - 2023

МОСКВА, 5-7 ДЕКАБРЯ 2023 г.

PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM

ENGINEERING ECOLOGY - 2023

MOSCOW, 5- 7 DECEMBER, 2023

**МОСКВА, 2023
MOSCOW, 2023**

УДК 504(075.8) 504.064.4(075.8)

**Международный симпозиум «Инженерная экология – 2023»,
Москва, Россия, доклады.**

Под редакцией д.ф.-м.-н., проф. Мкртчяна Ф.А.

УДК 504(075.8) 504.064.4(075.8)

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

д.т.н., проф.	Самхарадзе Т.Г.
д.т.н., проф.	Громов Ю.Ю.
д.ф.-м.н.	Амбросимов А.К.
к.т.н.	Потапов И.И.

ISBN 978-5-902454-21-2

**© Авторы докладов
© РНТОРЭС им. А.С. Попова**

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатели Международного организационного комитета:

академик **Гуляев Юрий Васильевич**

академик **Никитов Сергей Аполлонович**

Председатель Международного программного комитета член корр. РАЕН,
иностраный член НАН Армении, д.ф.-м.-н., проф. **Мкртчян Ферденант**
Анушаванович

ПРОГРАММНАЯ ГРУППА МЕЖДУНАРОДНОГО ОРГКОМИТЕТА

член-корр. Розенберг Г.С. (Россия), академик Черепенин В.А. (Россия), д.ф.-м.н. Смирнов В.М. (Россия), академик Cao Van Phuong (Вьетнам), проф. Флейшман Б.С. (Россия, США), проф. Nguyen Xuan Man (Вьетнам), проф. Cao Viet Hieu (Вьетнам), академик НАН Армении Хачатрян Г.Г. (Армения), д.ф.-м.н., проф. Полищук Ю.М. (Россия), д.т.н., проф. Неусыпин К.А. (Россия), проф. Varotsos С. (Греция), проф. Rochon G. (США), проф. Yasumoto K. (Япония), проф. Nitu С. (Румыния), проф. Геворкян С.А. (Армения), проф. Габриелян Б.К. (Армения), д.т.н. Калечиц И.Н. (Россия), д.б.н., проф. Голубева Е.И. (Россия), д.г.н., проф. Кошелева Н.Е. (Россия), к.ф.м.н., доц. Гицба Я.В. (Абхазия), к.ф.-м.н., доц. Ахсалба А.К. (Абхазия), проф. Cu Than Son (Вьетнам), проф. Trinh Luong Quang (Вьетнам), проф. Tuyet Dao Van (Вьетнам), проф. Курковский А.П. (Россия, США), академик РАЕН, д.т.н., проф. Сидоров Ю.Е. (Россия).

АДМИНИСТРАТИВНАЯ ГРУППА МЕЖДУНАРОДНОГО ОРГКОМИТЕТА:

Вице-президент РНТОРЭС им. А.С. Попова, к.т.н., доц. Растягаев Д.В., д.ф.-м.н. Амбросимов А.К., д.т.н., проф. Самхарадзе Г.Т., д.т.н. Ковалев В.И., д.ф.-м.н. Гранков А.Г., д.т.н., проф. Громов Ю.Ю., к.ф.-м.н., доц. Климов В.В., к.т.н. Потапов И.И., к.ф.-м.н. Солдатов В.Ю., к.ф.-м.н. Агаджанян М.Г., зав. отделом РНТОРЭС им. А.С. Попова, вед. инж. Г.И. Карпушкина, вед. электроник Шелобанова Н.К., ст. инж. Красножен Л.А., ст. лаборант Мкртчян М.А.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Каевицер В.И., Кривцов А.П., Смолянинов И.В., Элбакидзе А.В. Применение многофункциональных гидролокационных комплексов для экологического мониторинга опасных объектов на морском дне и выхода метаносодержащих газов из донных отложений.....	6
Мкртчян Ф.А. Анализ эффективности многоканальных дистанционных мониторинговых систем (МДМС).....	10
Полищук Ю.М., Куприянов М.А., Полищук В.Ю. Дистанционное исследование влияния климата на динамику термокарстовых озер в Кольской Арктике.....	16
Голубева Е.И., Саянов А.А., Киселева С.В. Природосберегающие технологии в строительстве: Биосолнечные крыши.....	20
Жаксылыков Н.Б., Кошелева Н.Е. Анализ загрязнения полициклическими ароматическими углеводородами почвенного покрова г. Байкальска методом регрессионных деревьев.....	24
Неусыпин К.А., Пролетарский А.В., Ху Цяоу, Сюй Цзясюэ. Модели с повышенной степенью идентифицируемости навигационного комплекса малого БЛА для исследования зон экологических катастроф.....	29
А.К.Ахсалба, Я.А.Экба, Н.А.Лемешко, В.П. Евстигнеев. Оценка агроклиматических условий республики Абхазия в XXI веке.....	32
Гицба Я.В. Изучение гидрохимического состава прибрежных вод Сухумской бухты.....	36
Маркелов Д.А., Алешко-Ожевская О.С., Акользин А.П., Григорьева М.А., Минеева Н.Я. Геоинформационные системы (ГИС) на службе природопользования: надежность, эффективность, мониторинг и контроль.....	40
Адилбаева Т.Е., Таловская А.В., Язиков Е.Г. Оценка загрязнения снегового покрова техногенными образованиями в районе расположения ТЭЦ (на примере г. Караганда, республика Казахстан).....	44
Гранков А.Г., Новичихин Е.П., Шелобанова Н.К. О последствиях нефтяных разливов в мексиканском заливе в 2010 г. Для транспорта тепла течением Гольфстрим к северным морям России по данным спутникового мониторинга.....	49
Амбросимов А.К. О придонных течениях на рифте в Южно-Карском осадочном бассейне.....	53

СЕКЦИЯ №1. ГЛОБАЛЬНЫЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ

Климов В.В. Об одном подходе к выявлению скрытых периодичностей.....	57
Фам Суан Фанг. Исследование задачи синтеза управления стохастической системой методом полиномиального хаоса.....	62
Бухаров М.Н. Исследование применения egr-платформы для создания систем гибридного интеллекта в области экологии.....	66
Селезнев М.С. Использование концепции динамического системного синтеза для формирования моделей алгоритмического обеспечения летательного аппарата экологического назначения.....	69
Абрамов С.В., Клинцов О.И., Красавин В.А., Романец А.В. Структура автономных распределенных сенсорных сетей для экологического мониторинга и проблемы их энергообеспечения.....	73
Калинин В.И. Флуктуационный анализ при передаче информации на основе сверхширокополосных шумовых сигналов.....	76
Сокол Е.С., Тогачев А.А., Попков А.Ю., Дубнов Ю.А., Полищук В.Ю., Куприянов М.А., Попков Ю.С., Полищук Ю.М. Программно-алгоритмический комплекс энтропийно-рандомизированного прогнозирования накопления метана в озерах Российской Арктики на основе спутниковых снимков.....	79
Черницова О.В., Кошелева Н.Е., Васильчук Дж.Ю., Герасимова М.И., Пискарева В.М., Ежелев З.С., Гасина А.И. Картографирование почвенного покрова на урбанизированном водосборе для моделирования водного, твердого и химического стока.....	84
Шуваева В.А., Киричков М.В., Невидомская Д.Г., Цицуашвили В. С. Исследование техногенно-загрязненных почв с использованием синхротронных методов.....	88
Щелоков Я.М., Лисиенко В.Г., Чесноков Ю.Н., Лаптева А.В. Традиционная и нетрадиционная ориентация в энергетике.....	93
Габриелян Б.К., Геворкян С.А., Мкртчян Ф.А. Особенности диагностики озера Севан.....	96

СЕКЦИЯ №2. ТЕОРЕТИКО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА

Le Thanh, Nguyen Quang Tan. Advanced algorithm of privacy preserving data mining.....	101
---	-----

Маркелов Д.А., Алешко-Ожевская О.С., Акользин А.П., Григорьева М.А., Минеева Н.Я. Инжиниринг биосферы: принципы, критерии, технологии.....	106
Маркелов Д.А., Алешко-Ожевская О.С., Акользин А.П., Григорьева М.А., Минеева Н.Я. Правила и законы – залог существования биосферы.....	110
Маркелов Д.А., Алешко-Ожевская О.С., Акользин А.П., Григорьева М.А., Минеева Н.Я. Основы гештальтгеографии - распознавание и прогнозирование.....	114
Маркелов Д.А., Алешко-Ожевская О.С., Акользин А.П., Григорьева М.А., Минеева Н.Я. Территория в модулях геоинформационных систем (ГИС).....	116
Амбросимов А.К. Истоки Ямальского течения.....	122
Ковалев Г. А. Районирование морских вод юго-западной части Карского моря по гидрологическим параметрам с использованием критерия Колмогорова-Смирнова	126
Полищук Ю.М., Муратов И.Н., Байсалимова О.А. Исследование распределения по размерам Арктических озер северо-востока России на основе интеграции данных снимков SENTINEL-2 и КАНОПУС-В.....	127
Лаптева А.В., Лисиенко В.Г., Чесноков Ю.Н., Щелоков Я.М. Граф эмиссий вредных и парниковых газов..	132
Mkrtchyan F.A., Soldatov V.Yu., Mkrtchyan M.A. On some optical methods for water quality monitoring.....	135
Терский П.Н., Цыпленков А.С., Морейдо В.М. Рядов стока воды малоизученной городской реки лине реки Сетунь (территория москвы и московской области): идентификация и оценка территориальной структуры.....	142
Пуликова Е.П., Минкина Т.М., Невидомская Д.Г., Горовцов А.В., Константинова Е.Ю., Иванов Ф. Д., Манджиева С.С. Воздействия отходов угледобычи на микрофлору ландшафтов юга России.....	146
Аронсон К.Э., Балакин Д.Ю., Желонкин Н.В., Старостин А.А., Шангин В.В., Шлеймович Е.М. Повышение экологической безопасности маслоохладителей ТЭС и АЭС.....	150
Ф.А. Мкртчян, В.В. Климов, В.Ю. Солдатов, Л.А. Красножен, М.А. Мкртчян. О методике идентификации загрязнителей водной среды.....	154

СЕКЦИЯ №3. ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Ваховская З.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е. Потенциально токсичные элементы в атмосферных осадках Москвы в постковидный период (весенне-летний сезон 2022).....	160
Битюкова В.Р., Акынжанов Т.Б. Источники антропогенного воздействия в долине реки Сетунь (территория москвы и московской области): идентификация и оценка территориальной структуры..	164
Битюкова В.Р., Мозгунов Н.А. Загрязнение твердыми частицами московского столичного региона: источники и факторы на муниципальном уровне.....	169
Болдырев К.А., Ваховская З.С., Соболев Д.А., Кошелева Н.Е. Геохимическое моделирование воздействия атмосферных осадков на исторические памятники Москвы.....	174
Безбердая Л.А., Енчилик П.Р., Кошелева Н.Е., Васильчук Дж.Ю., Семенов И.Н., Власов Д.В., Касимов Н.С. Методика выделения гранулометрических фракций почв и пыли методом центрифугирования.....	178
Безбердая Л.А., Хозяйнова Д.А., Хребтенко А.С., Крылова А.А., Кречетов П.П. Потенциально токсичные элементы в снежном покрове Таганрога.....	183
Гапизжанулы Г., Кречетов П.П., Мозгунов Н.А. Пространственная дифференциация загрязнения атмосферного воздуха в западном административном округе Москвы.....	187
Дмитриенко И.В., Кречетов П.П. Природные и антропогенные факторы формирования химического состава грунтовых вод на территории мегаполиса.....	191
Гайский П.В., Шайда О.В., Шайда В.Г. Мониторинг температурных флуктуаций соленого Сакского озера (республика Крым).....	195
Демин В.В., Пименов О.С., Завгородняя Ю.А. Эфиры фталевой кислоты в водной системе реки Сетунь....	199
Ерина О.Н., Терешина М.А., Борисычева М.С., Соколов Д.И., Чалов С.Р. Анализ форм миграции потенциально токсичных элементов в р Сетуни по результатам исследований 2019-2021 гг.....	203
Енчилик П.Р., Семенов И.Н., Безбердая Л.А., Васильчук Дж.Ю., Касимов Н.С. Влияние параметров ультразвукового диспергирования при гранулометрическом фракционировании на содержание элементов в микрочастицах почв и дорожной пыли.....	206
Константинова Е.Ю., Пуликова Е.П., Литвинов Ю.А., Нестерук Г.В., Шерстнев А.К., Лацынник Е.С., Минкина Т.М. Анализ пространственной вариативности потенциально токсичных элементов в почвах г. Новочеркасска.....	212
Козьменко С.В., Горовцов А.В., Дудникова Т.С., Минкина Т.М., Сушкова С.Н., Загайнов Е.А., Бояршинов В.А. Применение углеродистых сорбентов с иммобилизованными штаммами микроорганизмов для ремедиации загрязненных ПАУ почв.....	215
Кирина В. Д., Таловская А. В., Язиков Е.Г. Динамика пылевой нагрузки на снеговой покров на территории г. Кемерово.....	218
К 100- летию юбилею Флейшмана Бенциона Семеновича.....	222

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГИДРОЛОКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ НА МОРСКОМ ДНЕ И ВЫХОДА МЕТАНОСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ ИЗ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ.

Г.н.с д.т.н. Каевицер В.И., с.н.с. к.-ф.м.н. Кривцов А.П., с.н.с. Смольянинов И.В., с.н.с. Элбакидзе А.В.

ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

В работе рассмотрена возможность применения многофункционального гидролокационного комплекса для картирования экологически опасных объектов на морском дне и обнаружения в водной толще следов газовой разгрузки метана из донных отложений. Приведены результаты обработки и анализ материалов, полученных экспериментально с помощью многоканального цифрового гидролокационного комплекса. В состав многофункционального гидролокационного комплекса входит акустический профилограф и интерферометрический гидролокатор бокового обзора. Полученные результаты подтверждают возможность применения комплекса для обнаружения и классификации экологически опасных объектов на дне моря и источников разгрузки метаносодержащих газов из донных отложений.

В последние годы большое внимание уделяется разработке методов исследований следов газовой разгрузки метана и других газов с дна моря в атмосферу, поскольку это связано с разведкой месторождений углеводородов и экологическими проблемами. Представляет практический интерес определение источника газовой разгрузки, глубина, и его характер.

В ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН разработан и использовался в ряде инженерных морских изысканий многоканальный цифровой гидролокационный комплекс, включающий интерферометрические гидролокаторы бокового обзора (ИГБО), промерный высокочастотный эхолот и низкочастотный профилограф с единым управляющим контроллером и программой регистрации, обеспечивающими синхронную регистрацию, как сигнальных, так и навигационных данных [1]. Комплекс отличается небольшими габаритами и весом и легко устанавливается на различные исследовательские суда. При проведении с его использованием картирования морского дна были обнаружены и обследованы затопленные суда подводные сооружения и различные объекты, могущие представлять экологическую опасность, по результатам которых при необходимости проводился экологический мониторинг. На рисунке 1 представлен пример гидролокационного изображения затонувшего судна.

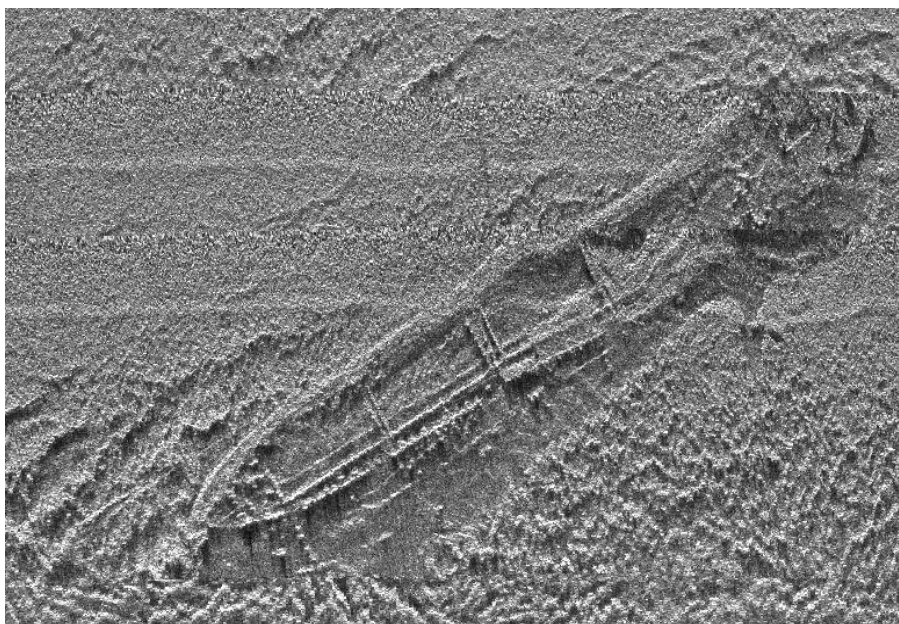


Рисунок 1. Пример гидролокационного изображения затонувшего судна.

Покажем, что при дополнительной обработке экспериментальных данных с анализом водной среды разработанный комплекс может быть использован для определения источников и участков дна с характерными признаками возможной газовой разгрузки из донных отложений.

Рассмотрим некоторые результаты гидролокационных исследований, проведенных с помощью ИГБО диапазона 70 кГц и эхолота профилографа диапазона 6 кГц в Баренцевом море. На рисунке 2 приведены результаты картирования дна. В верхней части рисунка приведено гидролокационное изображение поверхности дна, на котором хорошо видны объекты типа покмарок – по акустическим теням это углубления в грунте, как правило приуроченные к местам подводной разгрузки газообразных углеводородов. В нижней части рисунка приведено изображение разреза верхней 50-метровой толщи донных отложений, полученное с помощью акустического профилографа вдоль штриховой линии, отмеченной на гидролокационном изображении донной поверхности. В средней части рисунка представлен рельеф морского дна для данного участка который показывает, что яркие объекты на гидролокационном изображении являются углублениями. На верхней и средней части рисунка, пунктирной линией обозначена линия движения судна.

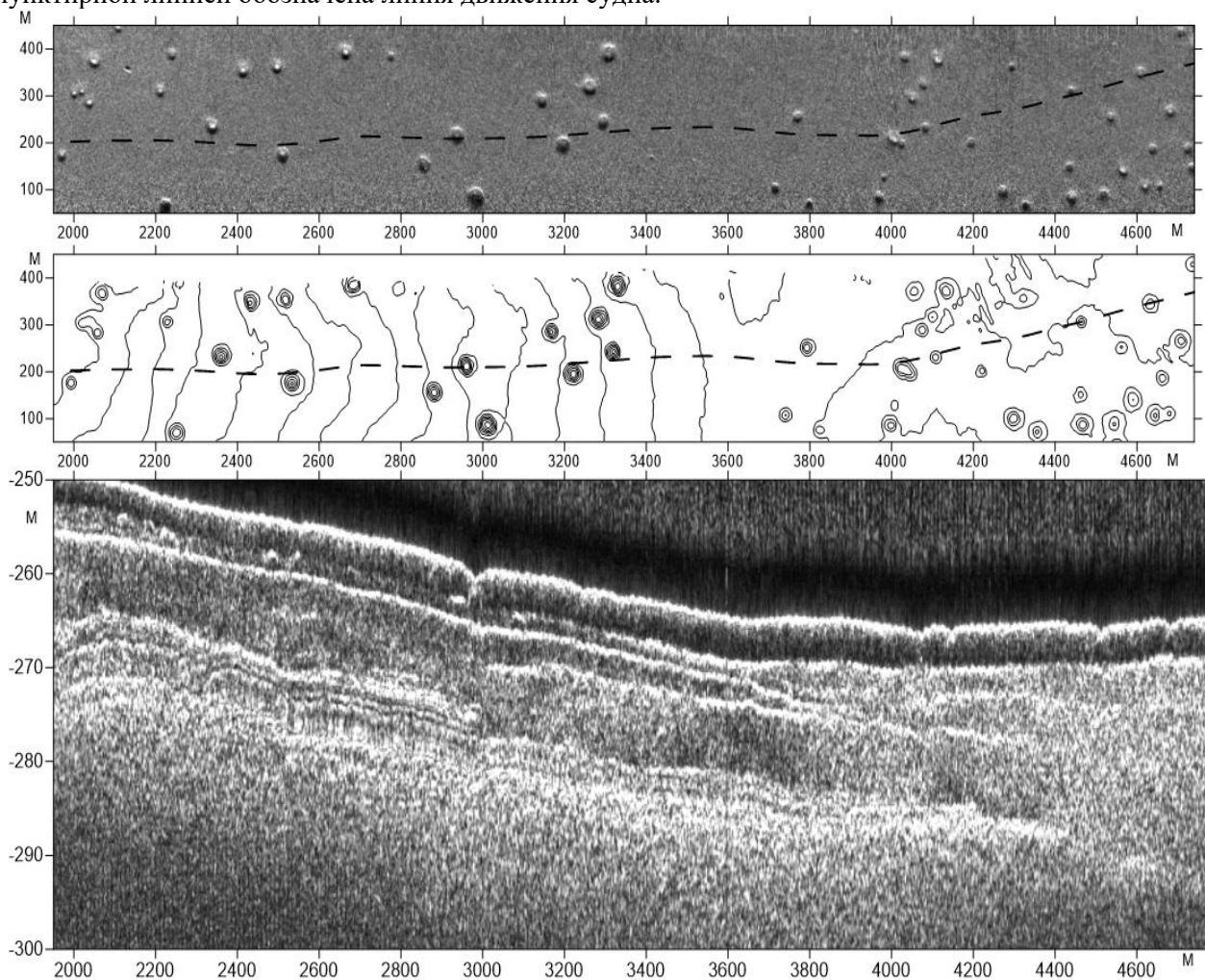


Рисунок 2. Пример результатов промера в Баренцевом море.

Приведенные результаты отражают возможности комплекса при проведении картирования дна и донных отложений. При таком представлении информации структура водной толщи частично или полностью отрезается, но на гидролокационном изображении морского дна видны образовавшиеся в результате газовой разгрузки воронки диаметром 5-6 м (покмарки). Кроме того, на профиле донных отложений видны области с сильной газовой засветкой которые экранируют структуру слоев донных осадков.

На рисунке 3 приведен фрагмент результатов зондирования участка дна и водной толщи в Балтийском море. На верхнем рисунке приведены результаты профилирования воды и донных отложений с разрешающей способностью по глубине около 25 см на частоте 6 кГц. На нижнем рисунке результаты, полученные ГБО диапазона 85 кГц с разрешением по наклонной дальности около 6 см.

Отметим, что на низкой частоте в воде видны слоистые структуры, связанные с биологическими объектами и рассеяние на газовых пузырьках. На высокой частоте вся водная толща заполнена следами интенсивной газовой разгрузки, которая приводит к экранированию структуры и объектов на морском дне.

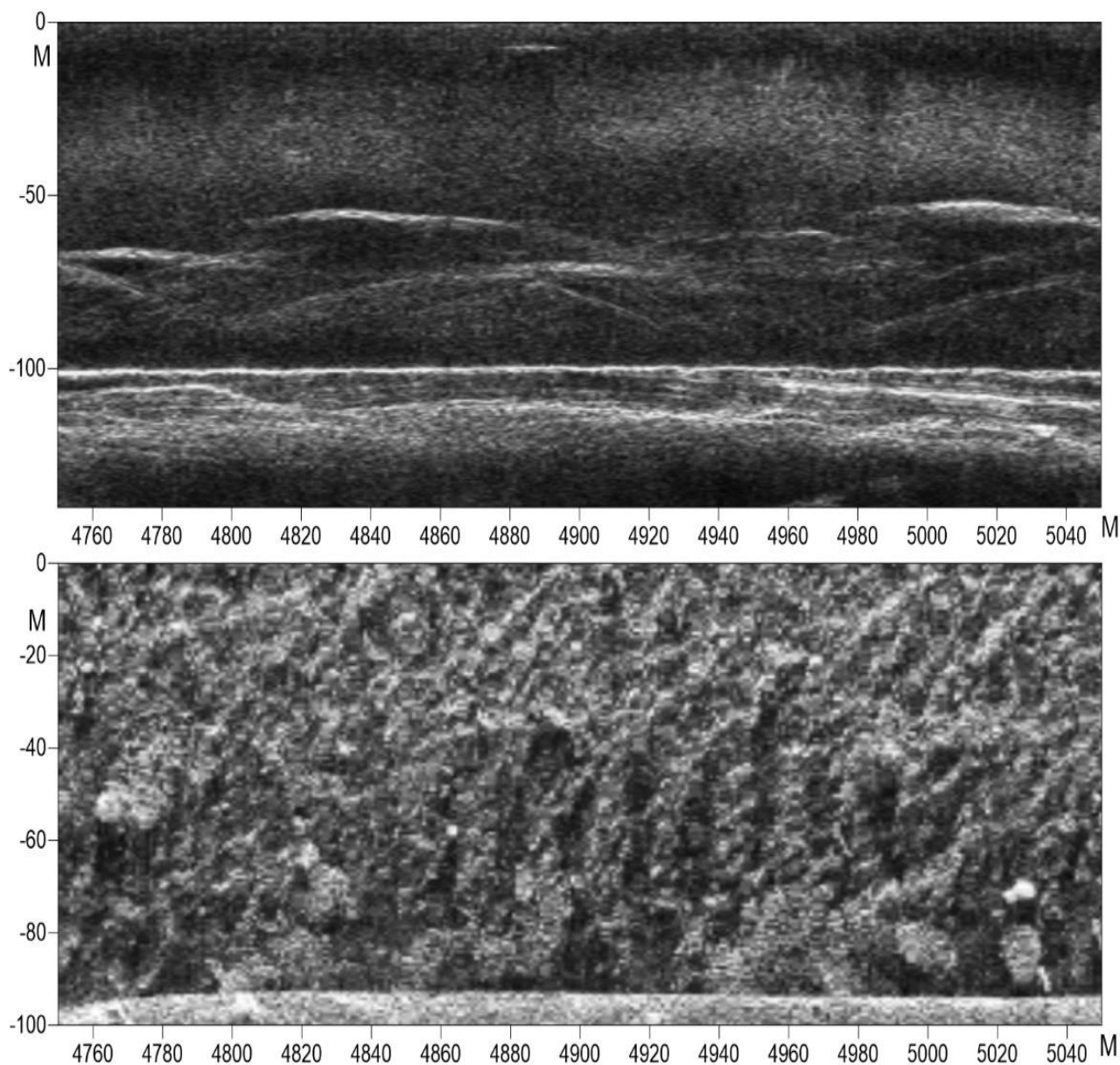


Рисунок 3. Фрагмент результатов зондирования водной толщи в Балтийском море.

Летом 2011 года в районе Таманского полуострова Институтом радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН проводились испытания гидролокационного комплекса в составе профилографа и интерферометрического ГБО. Профилирование проводилось в прибрежной зоне с глубинами 5-20 метров с применением когерентных сигналов с линейной частотной модуляцией и с корреляционной обработкой в диапазоне 5 кГц. Глубина профилирования составляла до 30 м в зависимости от характера донных отложений. Для получения акустических изображений поверхности и батиметрической съемки применялся интерферометрический гидролокатор бокового обзора (ГБО) диапазона 240 кГц.

На рисунке 4 приведен пример акустического профиля дна и донных отложений на участке с подводным грязевым вулканом.

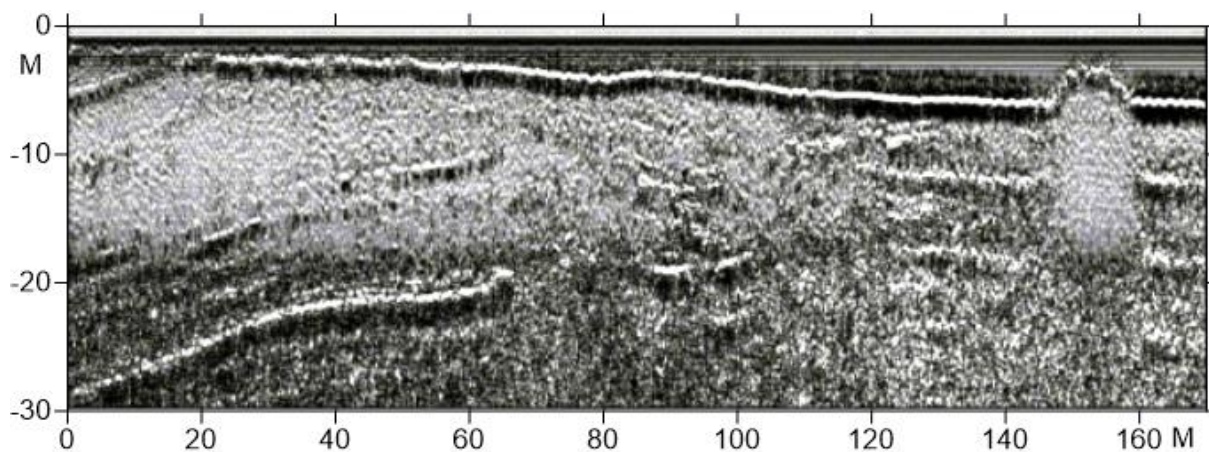


Рисунок 4. Акустический профиль донных отложений.

Отметим, что в результате разгрузки газов, в донных отложениях скапливается большое количество газов (левая часть рисунка) при высокой интенсивности газы вместе с мягкими донными отложениями вырываются на поверхность, образуя грязевые вулканы (на рисунке 4 справа).

В результате проведенных исследований толщи морской воды, донных осадков и поверхности морского дна с помощью многоканального цифрового гидролокационного комплекса, показана возможность обнаружения следов и источников газовой разгрузки метана и других газов из донных отложений.

Источниками газовой разгрузки могут быть:

1. Скопление газов на поверхности морского дна [1].
2. Извлечение газов из толщи морского дна [2].
3. Подводные грязевые вулканы [3,4].

Литература

1. Каевицер В.И., Кривцов А.П., Разманов В.М., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В., Денисов Е.Ю. Разработка и результаты испытаний гидроакустического комплекса для исследования дна шельфовой зоны Арктических морей // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. 2016. № 11. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/nov16/1/text.pdf>
2. Каевицер В.И., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В. Экспериментальные измерения следов газовой разгрузки участков морского дна в водной толще при применении многофункциональных гидролокационных комплексов // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. 2022. №7. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.7.12>
3. Каевицер В.И., Римский-Корсаков Н.А., Смольянинов И.В., Разманов В.М., Кривцов А.П. Возможные проявления подводных грязевых вулканов по результатам гидролокационных исследований в акватории Таманского полуострова. Океанология. 2016. Т. 56. № 5. С.784-790. <https://doi.org/10.7868/S0030157416040055>
4. Каевицер В.И., Словцов И.Б., Кривцов А.П., Разманов В.М., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В. Подводные грязевые вулканы Таманского полуострова по данным гидролокационного исследования. Вулканология и сейсмология. 2016. № 4. С.27-33. <https://doi.org/10.7868/S0203030616040039>

THE USE OF MULTIFUNCTIONAL SONAR COMPLEXES FOR ENVIRONMENTAL MONITORING OF HAZARDOUS OBJECTS ON THE SEABED AND THE UPLOADED OF METHANE-CONTAINING GASES FROM BOTTOM SEDIMENTS.

Kaevitser V.I., Krivtsov A.P., Smolyaninov I.V., Elbakidze A.V.

Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS, Branch in Fryazino

The paper considers the possibility of using a multifunctional sonar system for mapping environmentally hazardous objects on the seabed and detecting methane gas seeps from bottom sediments in the water column. The results of processing and analysis of materials obtained experimentally using a multichannel digital sonar complex are presented. The multifunctional sonar complex includes an acoustic profiler and a side scan interferometric sonar. The results obtained confirm the possibility of using the complex for the detection and classification of environmentally hazardous objects on the seabed and sources of uploading of methane-containing gases from bottom sediments.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ДИСТАНЦИОННЫХ МОНИТОРИНГОВЫХ СИСТЕМ (МДМС)

д.ф.-м.н., проф. Ф.А. Мкртчян

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

Разработана основа многоканальной дистанционной мониторинговой системы, которая использует новые методы и алгоритмы обработки данных дистанционного зондирования и формирование обновляемых баз данных и знаний, опирающихся на современные компьютерные технологии и использующие высокопроизводительные вычислительные системы. Приводится структурная схема многоканальной дистанционной мониторинговой системы (МДМС). Рассчитаны основные параметры ДМС. Детально анализируется блок «решатель» МДМС. Получены аналитические оценки эффективности процедур принятия статистических решений при дистанционном мониторинге окружающей среды.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

Введение

Основной смысл концепции дистанционного мониторинга состоит в соединении в систему средств сбора данных, методов их обработки, математических моделей природных объектов, компьютерных средств реализации алгоритмов и моделей с широким спектром сервисного обеспечения при визуализации результатов мониторинга.

Эффективное решение этих задач невозможно без широкого внедрения в практику исследований автоматизированных систем сбора, хранения и обработки данных на базе современных ЭВМ с применением технологии открытых систем.

Организация многоканальных дистанционных мониторинговых систем (МДМС) является исключительно сложной, комплексной, многоплановой задачей. В ее решении важную роль играют экспериментальные методы исследования окружающей среды. Первостепенное значение при осуществлении таких экспериментов приобретают организация массового сбора информации об изучаемом объекте, оперативность ее обработки и достоверная интерпретация данных наблюдений на основе аналитических и численных математических моделей [1,4,5, 9,11,12,13].

Одной из функций МДМС является обнаружение и классификация аномальных явлений на земной поверхности. Важными обстоятельствами в рассматриваемой проблеме является учет наличия условий неопределенности в местопребывании и возможном динамическом поведении аномалии. Ограниченность параметров технических средств, применяемых при обследовании окружающей среды, должно учитываться в процедурах принятия решений о наличии или отсутствии аномалии. Эта многогранность задачи глобального обнаружения аномалий на земной поверхности требует для своего решения применения системного подхода, позволяющего с единых позиций рассмотреть весь комплекс локальных задач и подойти к формированию мониторинговой системы обнаружения, обеспеченной надежной функцией самоконтроля.

Ограниченность технических средств, объема памяти и быстродействия бортовых вычислительных устройств диктует расчленение мониторинговой системы [1,4,7,12,13] на три подсистемы: **фиксатор, решатель и искатель**. Последние делятся на подсистемы – блоки, функции которых состоят в следующем:

- 1) периодический просмотр элементов поверхности земли;
- 2) фиксация подозрительных элементов в памяти;
- 3) формирование из подозрительных элементов следов движущейся аномалии;
- 4) накопление во времени данных о фиксированных элементах земной поверхности с целью статистического анализа для принятия решения о шумовом или сигнальном характере зафиксированных подозрительных элементов;
- 5) многоэтапная локализация процедуры поиска аномалии.

В силу динамического изменения аномалий мониторинговая система должна значительно быстрее этих изменений осуществлять сканирование элементов пространства и успевать перерабатывать поток статистической информации. Поэтому стоит задача оценки эффективности мониторинговой системы как функции ее параметров.

Одной из важных функций МДМС является обнаружение подвижных аномалий на морской поверхности. Площадь определенного региона океанической поверхности, где предполагается возникновение аномалий, обозначим S . Предположим, что для обнаружения аномалий измерения проводятся по m каналам, т.е. имеем m -мерные характеристики $z = (z_1, z_2, \dots, z_m)$ с различными функциями распределения для фона $F_0(z)$ и для сигнал+шум $F_1(z)$.

Функциональная схема МДМС

МДМС для обнаружения аномалий на морской поверхности состоит из фиксатора, решателя и искателя [1,4,7, 10,12,13]. Блок схема ДМС приводится на рис.1.

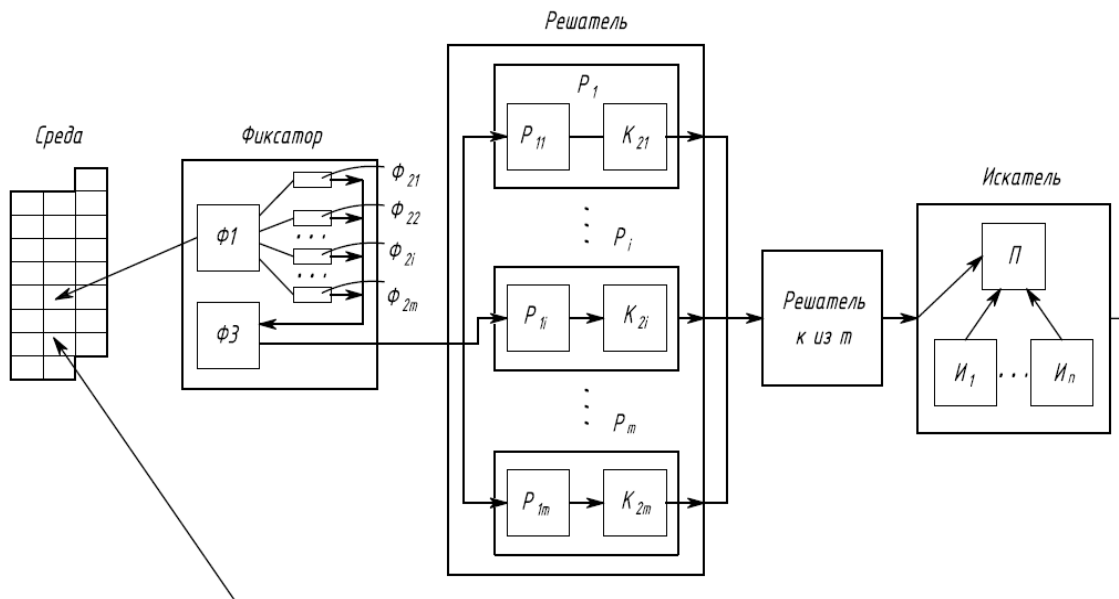


Рис.1. Блок –схема МДМС.

Рассмотрим МДМС, включающую многоканальный обнаружитель аномалий, который предполагает наличие многоканального фиксатора. В блоке фиксатор могут быть использованы СВЧ радиометры, оптические поляриметры, ИК датчики, САР и т.д.

Фиксатор имеет общий сканер $\Phi 1$ и память $\Phi 3$, а также m блоков ($\Phi 2i$) первичных критериев k_{1i} для каждого канала ($i = 1, m$). С помощью блока $\Phi 1$ производится сканирование определенного региона. В результате действий блоков $\Phi 2i$ координаты «подозрительных» элементов региона по мере поступления засылаются в свободные ячейки общей памяти $\Phi 3$.

Решатель имеет m блоков P_i , каждый из которых состоит из блоков P_{1i} - анализатора и блока вторичного критерия k_{2i} ($i = 1, m$). Эти блоки для каждого канала совместно определяют шумовой или аномальный характер сигналов среди "подозрительных" элементов региона[.

Решатель k из m. В этом блок классифицируются фиксированный "подозрительный" элемент. Если не менее k каналов из трешателя фиксируют аномальный характер "подозрительного" элемента, то блок ("решатель k из m") выносит окончательное решение о сигнальном характере фиксированного элемента. В противном случае принимается решение о шумовом характере элемента [4,5,7].

После вынесения решения о шумовом характере анализируемого элемента соответствующие ячейки памяти $\Phi 3$ очищаются и могут воспринимать новые данные.

Если выносится решение о сигнальном характере анализируемого элемента, то дается сигнал блоку "искатель" для более точной локализации места и соответствующие ячейки памяти $\Phi 3$ также очищаются.

Искатель - состоит из блока Π оптимального многоэтапного поиска и n устройств ($I_1, I_2, \dots, I_n$), функции которых состоят в последовательном уточнении места аномалий в указанном элементе региона на основе блока Π .

МДМС должна располагать n однотипными спутниками, движущимся со скоростью V , равномерно расположенными на циклической орбите длиной L . В этом случае МДМС возвращается к одному и тому же месту региона через интервал h , который должен удовлетворять соотношению

$$h = L/nV < \Delta v,$$

где Δ - первичная линейная разрешающая способность МДМС, v - скорость движения аномалий.

Специфика решателя. Многоканальное классическое обнаружение.

Все последующее изложение будем концентрировать на детализации решателя МС, связанной с неопределенностью вероятностных распределений аномалий и фона, характерных для мониторинговых ситуаций. В этом разделе рассматривается случай известных распределений, и специфика мониторинга связывается с многоканальностью обнаружения аномалий.

Подсистема МДМС «решатель» основывается на классической и последовательной процедурах выбора между двумя гипотезами. Эти процедуры требуют задания плотностей вероятностей $f_{\omega_0}(x)$ и $f_{\omega_1}(x)$, которые, как правило, неизвестны. Обычно в лучшем случае известны их эмпирические аналоги (гистограммы) $f_{\omega_0}^*(x)$ и $f_{\omega_1}^*(x)$, полученные из «обучающих» выборок ограниченного объема n_0 и n_1 соответственно. Поэтому развитую теорию можно использовать лишь при достаточно больших значениях n_0 и n_1 , когда $f_{\omega_i}^*(x)$ по вероятности сходится с $f_{\omega_i}(x)$. В общем случае развития теории может служить для получения оценок рассматриваемых процедур в лучшую сторону.

Задача обнаружения аномалий на земной поверхности имеет специфику, связанную с так называемой пятнистостью излучаемого пространства. Нарушение параметров пятнистости может быть признаком появления в изучаемом регионе аномалий.

В реальных условиях исследование пятнистости среды, получение статистических данных в обнаружителе является достаточно сложной и трудоемкой задачей.

Практически наиболее приемлемым способом определения пятен является метод задания порогов. При этом к области пятна относится та часть пространства, на которой показатель среды по данному каналу превышает (l^+ - характеристика) или не превышает (l^- - характеристика) пороговое значение.

Для обнаружения аномалий на земной поверхности могут быть привлечены сигналы по разным каналам: температурному, акустическому, биологическому, оптическому и т.п.

Ниже будет показано, что построение подсистемы многоканального обнаружения даст больший эффект, чем исследование каждого их каналов отдельно [4-8].

Для обнаружения аномалий на водной поверхности одной из обучающих выборок можно взять, например, фоновые (l^+ , l^-) – характеристики. А в качестве второй обучающей выборки можно взять фитопланктонные (l^+ , l^-) – характеристики во время возникновения аномалий.

Исследование фоновых характеристик практически по всем каналам и построение гистограмм показывает, что амплитудные характеристики имеют нормальные распределения, а (l^+ , l^-) – характеристики – экспоненциальные распределения. Поэтому рассмотрение оптимальных решающих процедур для этих распределений имеет важное значение.

Как отмечалось выше, при больших значениях n_0 и n_1 решатель МС может основываться на классической и последовательной процедурах выбора между гипотезами.

Если вероятностные характеристики аномалии и фона $f_{\omega_0}(x)$ и $f_{\omega_1}(x)$ соответственно определены и имеют вид нормального или экспоненциального распределения

$$f_{\omega}(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{x - \omega^2}{2\sigma^2}\right], \\ \omega \exp(-)\omega x, \end{cases}$$

то средние значения E_0 , E_1 (объемы выборок, необходимые для определения шумового или сигнального характера данной выборки) могут быть вычислены по формулам, приведенным в таблице 1. Эти формулы учитывают возможности использования классических и последовательных процедур выбора гипотез.

Таблица 1. Классические и последовательные процедуры выбора гипотез

Классический метод	Последовательный метод
1	2
Нормальное распределение	
$E_0 \nu = \frac{(u_\alpha + u_\beta)^2}{(\omega_1 - \omega_0)^2 / \sigma^2}$	$E_0 \nu = \frac{(1-\alpha) \ln B + \alpha \ln A}{(-0,5)(\omega_1 - \omega_0)^2 / \sigma^2}$
Экспоненциальное распределение	
$E_0 \nu = \frac{u_\alpha \omega_1 + u_\beta \omega_0}{\omega_1 - \omega_0}$	$E_0 \nu = \frac{(1-\alpha) \ln B + \alpha \ln A}{\ln(\omega_1 / \omega_0)(\omega_1 - \omega_0) / \omega_0}$
Нормальное распределение	
$E_1 \nu = \frac{(u_\alpha + u_\beta)^2}{(\omega_1 - \omega_0)^2 / \sigma^2}$	$E_1 \nu = \frac{\beta \ln B + (1-\beta) \ln A}{0,5(\omega_1 - \omega_0)^2 / \sigma^2}$
Экспоненциальное распределение	
$E_1 \nu = \frac{(u_\alpha \omega_1 + u_\beta \omega_0)^2}{(\omega_1 - \omega_0)^2}$	$E_1 \nu = \frac{\beta \ln B + (1-\beta) \ln A}{\ln(\omega_1 / \omega_0)(\omega_1 - \omega_0) / \omega_1}$

Здесь обозначено: $\alpha(\beta)$ - вероятность ошибки первого (второго) рода; u_α и u_β – соответствующие α и β квантили нормального распределения; $A=(1-\alpha)/\beta$ и $B=\alpha/(1-\beta)$ - пороги последовательной процедуры [2,3,4].

Аналогичные расчеты могут быть проведены и для любых других форм зависимостей плотностей вероятностей $f_{\omega_0}(x)$ и $f_{\omega_1}(x)$. Однако в реальной обстановке вместо этих зависимостей в лучшем случае могут быть известны эмпирические распределения $f_{\omega_0}(x)$ и $f_{\omega_1}(x)$. Поэтому для случая ограниченных n_0 и n_1 в решателе можно использовать оптимальные обучающиеся алгоритмы для нормально распределенных случайных и экспоненциально распределенных величин.

Проанализируем подробно эффект, который можно получить от многоканальности.

Пусть D_i - вероятность правильного обнаружения i -го канала ($i=1,m$), а F_i - вероятность ложной тревоги ($i=1,m$). Если принимать решение по правилу m из m , то соответствующие вероятности правильного обнаружения D и ложной тревоги F будут равны

$$F = \prod_{i=1}^m F_i, \quad D = \prod_{i=1}^m D_i, \quad 1 > D_i > 0,5 > F_i > 0$$

Ясно, что в этом случае улучшается F , но ухудшается D .

Рассмотрим теперь правило k из m . Для простоты сначала условимся, что $F_1 = F_2 = \dots = F_i = \dots = F_m$, $D_1 = D_2 = \dots = D_i = \dots = D_m$. Тогда

$$D = P(\mu \geq k/H_1) = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} C_m^i D_1^i (1 - D_1)^{m-i}, \quad (1)$$

$$F = P(\mu \geq k/H_0) = \sum_{i=0}^{k-1} C_m^i F_1^i (1 - F_1)^{m-i}.$$

Используя результаты работы [6], можно записать асимптотические оценки этих сумм:

$$D = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} C_m^i D_1^i (1 - D_1)^{m-i} > 1 - \exp\left[-mk\left(\frac{k}{m}, D_1\right)\right], \quad D_1 > \frac{k}{m};$$

$$F = \sum_{i=0}^{k-1} C_m^i F_1^i (1 - F_1)^{m-i} < \exp\left[-mk\left(\frac{k}{m}, F_1\right)\right], \quad F_1 < \frac{k}{m},$$

$$k(x,y) = x \ln(x/y) + (1-x) \ln((1-x)/(1-y)). \quad (2)$$

Поскольку число каналов на практике не очень большое (порядка пяти), то асимптотическими формулами (2) пользоваться нецелесообразно. В конкретных расчетах будем пользоваться точными формулами (1).

Введем обозначения $\eta_D = 1 - (1-D)/(1-D_1)$, $\eta_F = 1 - F/F_1$. Как видно, эти величины определяют относительные эффективности многоканальности по сравнению с одноканальным случаем.

На рис. 2 и 3 показаны зависимости η_D и η_F от $\theta = k/m$, для случая, когда $m = 5, 10$, $D_1 = 0,7; 0,8; 0,9; 0,99; 0,999; 0,9999$ и $F_1 = 0,2; 0,15; 0,1; 0,05; 0,01; 0,001$. Видно, что эффективность при $m=10$ больше, чем при $m=5$. С ростом k относительная эффективность η_D падает, а η_F – растет; с ростом D_1 эффективность η_D растет, а с уменьшением F_1 эффективность η_F растет.

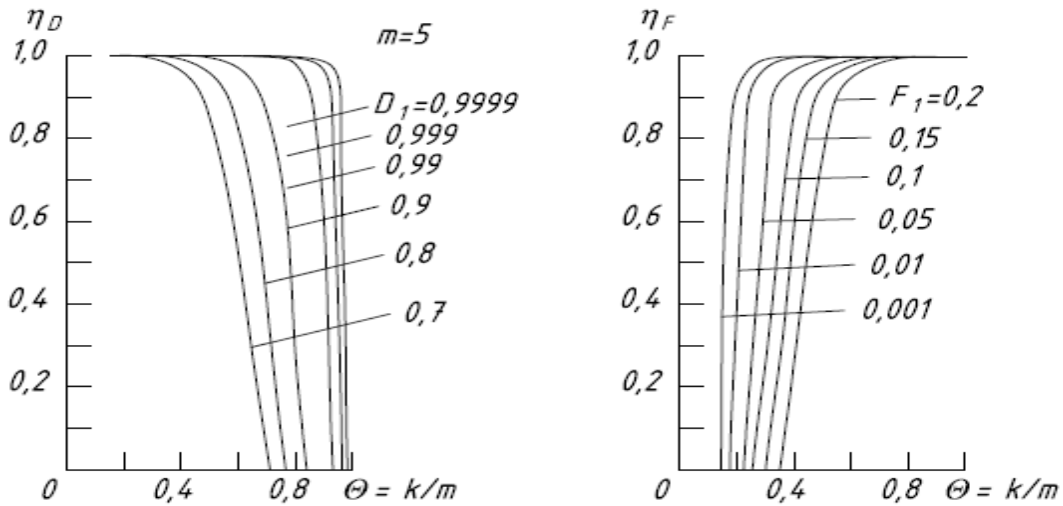


Рис.2. Эффективность многоканальности по сравнению с одноканальным случаем ($m=5$).

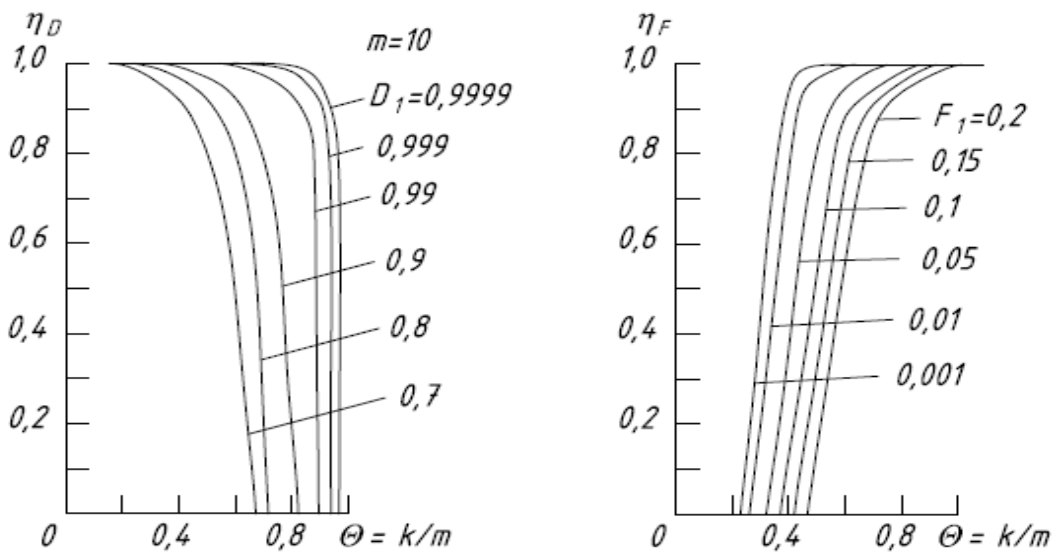


Рис.3. Эффективность многоканальности по сравнению с одноканальным случаем ($m=10$).

Заключение

Из вышесказанного следует, что критерии оценки эффективности мониторинговых систем в конечном итоге определяются вероятностью выполнения ими своих задач, которая является сложной функцией параметров самих систем и исследуемой среды. Одна из возможных моделей такого рода основана на использовании понятия «пятнистости» исследуемой среды. Подвижная аномалия разрушает структуру «пятнистости» и, как следствие, формируется ее след. Поскольку пятна могут иметь разную природу, то эффективный алгоритм обнаружения должен быть многоканальным.

Литература

1. Арманд Н.А., Крапивин В.Ф., Мкртчян Ф.А. Методы обработки данных радиофизического исследования окружающей среды, М.: Наука, 1987, 270с.
2. Башаринов А.Е., Флейшман Б.С. Методы статистического последовательного анализа и их приложения. М.: Сов. Радио, 1962, 352с.
3. Вальд А. Последовательный анализ. М.: Физматгиз. 1960.
4. Мкртчян Ф.А. Оптимальное различение сигналов и задачи контроля. М.: Наука, 1982, 186с.
5. Мкртчян Ф.А. Обработка данных мониторинга окружающей среды при малых объемах измерений. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 1999, № 5, с. 2-16.
6. Флейшман Б.С. Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем. Москва, Сов. радио, 1971. 225с.
7. Mkrtchyan F.A., Shapovalov S.M.. Some aspects of remote monitoring systems of marine ecosystems// Russian Journal of Earth Sciences, Vol. 18, Es4001, 2018, pp. 1-10.
8. Mkrtchyan, F.A., Varotsos, C.A. A New Monitoring System for the Surface Marine Anomalies// Water Air Soil Pollut., Vol. 229, Issue 8, No. 273, 2018, pp. 1-10.
9. Mkrtchyan F.A. Problems of statistical decisions for remote environmental monitoring// Proc. SPIE. 11501. Earth Observing Systems XXV. 115010R, August 2020.
10. Mkrtchyan. F.A. About optimal algorithms for making statistical decisions for small volume samples and with a-priori parametric uncertainty. Proceedings of the Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2019), Rome, Italy, 17–20 June, 2019, pp.3398-3404.
11. Mkrtchyan F.A., Krapivin V.F., Shapovalov S.M. About capabilities of GIMS-technology to the study of the marine ecosystems. Proceedings of the Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2019), Rome, Italy, 17–20 June, 2019, pp.3393-3397.
12. Nitu C., Krapivin V.F., Mkrtchyan F.A. Advanced Ecology. Monitoring, diagnostics, prognosis. Vol.1. ,Matrix Rom,Bucharesti, 2020, 396p.
13. Nitu C., Krapivin V.F., Mkrtchyan F.A. Advanced Ecology. Monitoring, diagnostics, prognosis. Vol.2, Matrix Rom, Bucharesti, 2021, 374p.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF MULTICHANNEL REMOTE MONITORING SYSTEMS (MDMS)

F. A. Mkrtchyan

Fryazino branch of the Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics RAS

The basis of a multi-channel remote monitoring system has been developed, which uses new methods and algorithms for processing remote sensing data and the formation of updated databases and knowledge based on modern computer technologies and using high-performance computing systems. A block diagram of a multi-channel multi-channel remote monitoring system (MRMS) is given. The main parameters of MRMS are calculated. The MRMS "solver" block is analyzed in detail. Analytical estimates of the effectiveness of statistical decision-making procedures in remote monitoring of the environment are obtained.

The work was carried out within the framework of the State Assignment of the Kotelnikov IRE RAS.

ДИСТАНЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА НА ДИНАМИКУ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР В КОЛЬСКОЙ АРКТИКЕ

Проф., д.ф.-м.н. Полищук Ю.М.¹, гл. спец., магистр Куприянов М.А.¹,
н.с., к.т.н. Полищук В.Ю.^{2,3}

¹АУ «Югорский НИИ информационных технологий», Ханты-Мансийск, 628011, Россия

²ФГБОУ «Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН», Томск, 634021,
Россия

³Томский политехнический университет, Томск, 634004, Россия

Исследовано влияние изменений климата на динамику термокарстовых озер Кольской Арктики на основе анализа взаимосвязи между изменениями климатических параметров и площадей термокарстовых озер исследуемой территории за период 1985-2021 гг. Временной ряд площади озер, полученный по спутниковым снимкам среднего разрешения Landsat на 14 тестовых участках, показывает в среднем сокращение размеров озер. Временные ряды среднегодовой температуры воздуха и годовой суммы осадков, сформированные по данным реанализа с использованием системы ERA-5, демонстрируют в среднем повышение во времени температуры воздуха и рост уровня осадков. Многомерный регрессионный анализ временных рядов площадей озер и климатических параметров показал, что наибольший вклад в сокращение размеров озер дают температурные изменения, а влияние осадков пренебрежимо мало.

Ключевые слова: термокарстовые озера, климатические изменения, космические снимки, Арктика

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ по проекту № 22-11-20023.

Современное повышение температуры земной поверхности многие специалисты связывают с эмиссией метана и углекислого газа в атмосферу, основными источниками которой на северных территориях являются болота и термокарстовые озера. По некоторым оценкам значительная часть мирового объема природного метана сосредоточена в Арктике, большую часть территории которой занимают своеобразные болотно-озерные ландшафты с бесчисленным множеством озер разных размеров и возраста. В связи с труднодоступностью территорий в зоне мерзлоты исследования таких ландшафтов проводят с использованием дистанционных методов. В настоящее время накоплен большой опыт применения космических снимков в изучении различных термокарстовых процессов в зонах многолетней мерзлоты [1,2], демонстрирующий эффективность дистанционных методов.

Как показано в [2,3], таяние мерзлоты в условиях современного потепления климата приводит к ускорению термокарстовых процессов, что проявляется в изменении размеров и числа термокарстовых озер в зоне мерзлоты. Исследования [4-7], проведенные на северных территориях Аляски, Сибири и других арктических регионов, выявили зависимость динамики термокарстовых процессов, в частности, размеров озер, от климатических изменений. Как показал анализ результатов многочисленных исследований термокарстовых озер, проведенных в последние десятилетия в циркумполярной арктической зоне [8], наименее изученными к настоящему времени оказались некоторые арктические территории на западе и востоке России, в частности, Кольская тундра. Поэтому для проведения исследований воздействия климата на динамику площадей озер нами выбрана территория Кольской тундры, расположенная в северной части Кольского полуострова.

В связи с этим целью работы явилось исследование взаимосвязи динамики термокарстовых озер с климатическими изменениями на самой западной территории Российской Арктики - в Кольской тундре - по спутниковым снимкам Landsat.

1. Экспериментальное изучение динамики площадей термокарстовых озер в зоне мерзлоты

Наиболее чувствительным показателем термокарстовых процессов к изменению температуры являются площади термокарстовых озер, что иллюстрируется результатами дистанционных исследований в разных регионах мира, изложенных, например, в работах [4,6,7]. Для получения данных о площадях термокарстовых озер на территории многолетней мерзлоты Кольского полуострова была выбрана совокупность тестовых участков, картосхема расположения которых на исследуемой территории представлена на рисунке 1, на котором тестовые участки показаны точками. Тестовые участки (ТУ) выбирались приблизительно равномерно по территории исследований на Кольском полуострове. Согласно рисунку 1, на исследуемой арктической территории Кольской тундры, площадь которой составляет 42,1 тыс. км², расположено 14 тестовых участков. Размеры тестовых участков выбирались приблизительно одинаковыми по площади. В среднем ТУ имели площади около 3500 га (35 км²). На каждый из тестовых участков было собрано не менее 3-5 безоблачных снимков Landsat. Суммарная площадь исследованных тестовых участков составила около

436,6 км². Для получения экспериментальных данных о площадях озёр на территории исследований всего было использовано 159 безоблачных снимков Landsat, полученных в теплые месяцы за период 1985-2020 гг. Обработка спутниковых снимков проведена с использованием программных средств современной геоинформационной системы QGIS 3.

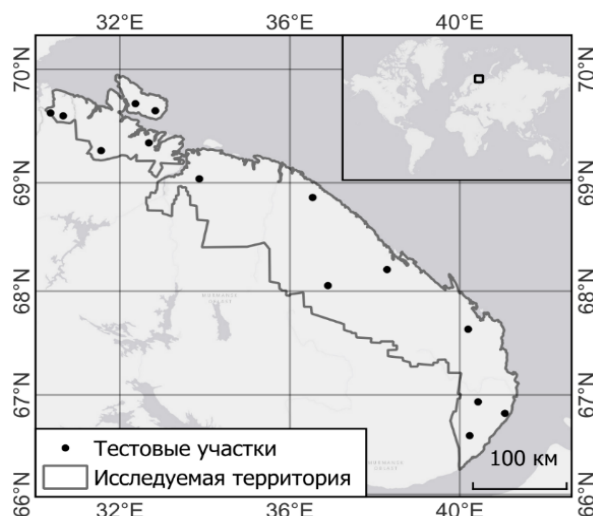


Рисунок 1. Карта-схема расположения тестовых участков на исследуемой территории

На каждом ТУ определялось от нескольких десятков до нескольких сотен озёр, площади которых измерялись по космическим снимкам с использованием средств QGIS 3. На основе полученных данных о площадях озёр был сформирован временной ряд средних значений площадей озёр, который аппроксимировался линейным уравнением вида:

$$y = \alpha \times x + B, \quad (1)$$

где α – линейный коэффициент уравнения аппроксимации; B – свободный член уравнения аппроксимации; x – время (годы).

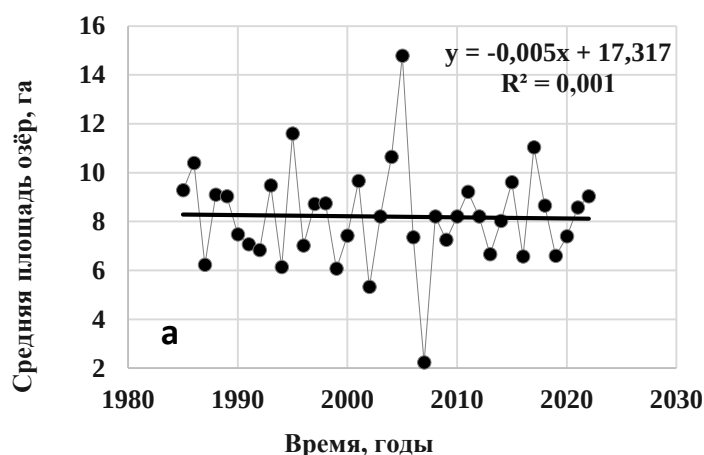


Рисунок 2. Временной ход средней площади термокарстовых озёр Кольской тундры

Положительный знак коэффициента линейного тренда α в уравнении (1) показывает, что площади озёр в исследуемый период в среднем увеличиваются, а отрицательное значение коэффициента α указывает на уменьшение в среднем значения этого показателя в период времени наблюдений. На рисунке 2 приведен график временного хода среднего значения площади термокарстовых озёр на территории исследования, из которого видно в среднем уменьшение во времени средней площади озёр Кольской тундры с коэффициентом линейного тренда $\alpha = -0,005$ га/год.

2. Исследование климатических изменений на территории Кольского полуострова

Анализ климатических изменений на территории многолетней мерзлоты Кольского полуострова проводится с использованием временных рядов среднегодовой температуры воздуха и годовой суммы осадков за период исследования. Временные ряды среднегодовой температуры и годовой суммы осадков получены по результатам реанализа (повторный метеорологический анализ), являющегося способом получения метеорологической информации в заданных пунктах исследуемой территории, основанного на процедуре «усвоения данных» [9]. Преимуществом данных реанализа является равномерное покрытие территории. В настоящей работе для определения температуры и годовой суммы осадков на исследуемой территории использовались данные системы реанализа ERA-5. Особенности использования реанализа применительно к получению временного ряда среднегодовой температуры подробно изложены в [3].

На рисунке 3 приведен график временного хода среднегодовых значений температуры воздуха, который показывает рост среднегодовой температуры со временем как результат потепления. Показанные на графике точки представляют среднегодовые значения температуры. Сплошная линия на графике рисунка 3 отображает линейную аппроксимацию (линейный тренд) графика временного хода температуры уравнением вида (1) с величиной коэффициента линейного тренда $\alpha=0,06$ град. С/год.

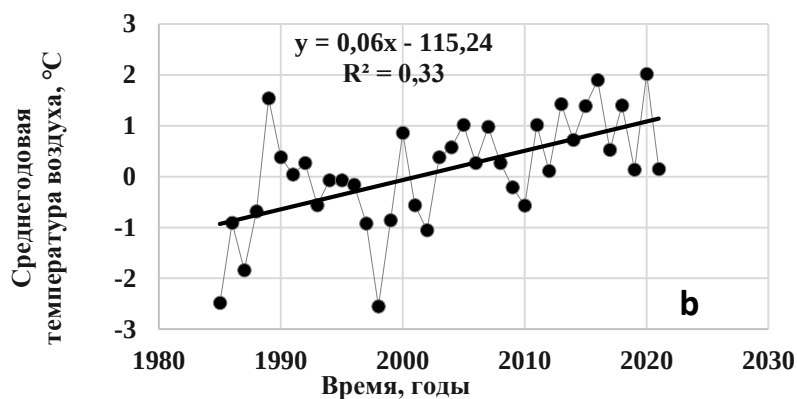


Рисунок 3. Временной ход среднегодовой температуры воздуха

На рисунке 4 приведен график временного хода годовой суммы осадков, который показывает увеличение во времени годовой суммы осадков на территории Кольской тундры (при положительном знаке коэффициента линейного тренда).

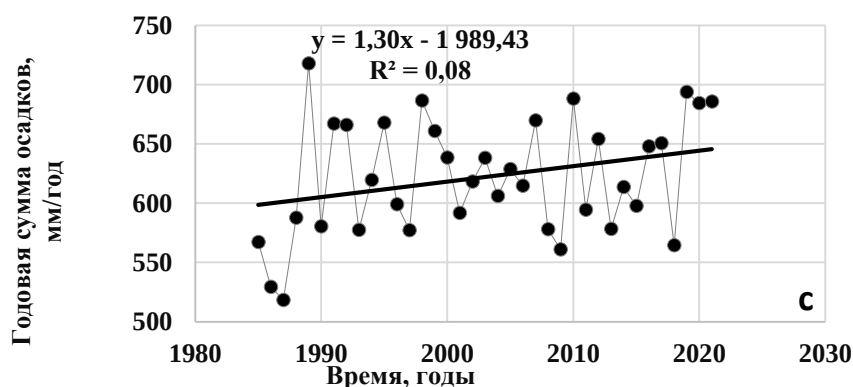


Рисунок 4. Временной ход годовой суммы осадков

Сплошная линия на графике рисунка 4 отображает линейную аппроксимацию (линейный тренд) графика временного хода суммы осадков уравнением вида (1) с коэффициентом линейного тренда $\alpha = 1,30$ мм/год. Сопоставление трендов временных ходов температуры и уровня осадков (рисунки 3 и 4 соответственно) показывает, что рост среднегодовой температуры воздуха в последние десятилетия на севере Кольского полуострова сопровождается увеличением годовой суммы осадков.

3. Анализ взаимосвязи климатических и геокриологических изменений

Изучение взаимосвязи климатических изменений и динамики площадей термокарстовых озер на территории криолитозоны Кольского полуострова проводится здесь на основе многофакторного регрессионного анализа данных совместных исследований временных изменений площадей термокарстовых озер, температуры воздуха и уровня осадков. Полученные по результатам проведенного исследования за 36-летний период на 14 тестовых участках территории Кольской тундры временные ряды усредненных по всем тестовым участкам значений площадей озер, среднегодовой температуры и годовых сумм осадков представлены выше графиками на рисунках 2 - 4. Эти данные были объединены в 3-мерный массив данных (площадь озер - температура - осадки), являющихся функциями от времени.

Дальнейший анализ полученного таким образом массива данных был проведен методом многомерного регрессионного анализа, результаты которого можно представить уравнением множественной линейной регрессии в виде:

$$\bar{S} = c_0 + c_1 \times x_1 + c_2 \times x_2 + c_3 \times x_3, \quad (2)$$

где $\bar{S}$ - усредненная по всем исследованным ТУ за определенный год площадь озер (зависимая переменная уравнения регрессии); c_i - регрессионные коэффициенты ($i = 0, \dots, 3$); x_1 - среднегодовая температура воздуха, x_2 - годовая сумма осадков, x_3 - время (годы).

В результате анализа многомерного массива данных, проведенного с помощью средств регрессионного анализа, реализованных на языке Python 3.8, получены следующие значения коэффициентов уравнения регрессии (2):

$$c_0 = 28,256 \text{ га}; c_1 = 0.108 \text{ га/}^\circ\text{C}; c_2 = -0.005 \text{ га/мм}; c_3 = -0.0085 \text{ га/год}. \quad (3)$$

Известно, что величина коэффициентов регрессии в (2) определяет относительный вклад соответствующей независимой переменной уравнения регрессии в изменения величины $\bar{S}$. Сравнивая коэффициенты регрессии c_1 и c_2 (для температуры и осадков соответственно), видим, что по абсолютной величине коэффициент c_1 в 21,6 раз превышает величину c_2 . Следовательно, можно принять, что влияние изменений среднегодовой температуры на величину средней площади термокарстовых озер превышает более чем на порядок влияние изменений уровня осадков.

Поэтому можно сделать вывод о том, что установленное дистанционными исследованиями сокращение размеров озер в зоне мерзлоты на севере Кольского полуострова определяется повышением среднегодовой температуры, а влиянием изменения уровня осадков можно пренебречь. Обнаруженная закономерность может быть объяснена влиянием на многолетнемерзлые породы наблюдающегося в последние десятилетия потепления климата, ускоряющего термокарстовые процессы, что сопровождается уменьшением в среднем площадей термокарстовых озер в криолитозоне Кольского полуострова.

Иная тенденция – рост площадей озер в условиях потепления климата - была обнаружена в аналогичных исследованиях на территории Таймырской тундры [10]. Различие тенденций в динамике площадей озер в зонах мерзлоты на территориях Таймырского и Кольского полуостровов, по нашему мнению, может быть объяснено тем, что исследуемая территория на Таймыре относится к зоне сплошной мерзлоты, а территория Кольского полуострова располагается в зоне прерывистой мерзлоты, термокарстовые процессы в которой под влиянием потепления сопровождаются дренажем воды из малых озер, приводящему, согласно [8], к сокращению суммарных площадей озер.

Литература

1. Днепровская В.П., Брыксина Н.А., Полищук Ю.М. Изучение изменений термокарста в зоне прерывистого распространения вечной мерзлоты Западной Сибири на основе космических снимков // Исследование Земли из космоса, 2009, № 4, С. 88-96.
2. Polishchuk Y.M., Bryksina N.A., Polishchuk V.Y. Remote analysis of changes in the number and distribution of small thermokarst lakes by sizes in Cryolithozone of Western Siberia // Izvestia. Atmospheric and Oceanic Physics, 2015. Vol. 19. No. 2. P. 100-105.

3. Полищук В.Ю., Полищук Ю.М. Геоимитационное моделирование полей термокарстовых озер в зонах мерзлоты. - Ханты-Мансийск, УИП ЮГУ, 2013, 129 с.
4. Luoto M., Seppala M. Thermokarst ponds as indicator of the former distribution of palsas in Finnish Lapland // *Permafrost and Periglacial Processes*, 2003. Vol. 14, pp. 19-27.
5. Kirpotin S., Polishchuk Y., Bryksina N. Abrupt changes of thermokarst lakes in Western Siberia: impacts of climatic warming on permafrost melting // *International Journal of Environmental Studies*, 2009. Vol. 66. No. 4, pp. 423-431.
6. Riordan B., Verbyla D., McGuire A.D. Shrinking ponds in subarctic Alaska based on 1950-2002 remotely sensed images // *J. Geophys. Res.*, 2006. Vol. 111. G04002, doi:10.1029/2005JG000150.
7. Брыксина Н.А., Полищук Ю.М., Куприянов М.А. Сравнительный анализ изменений размеров озер в зоне мерзлоты Западной и Восточной Сибири по космическим снимкам // *Геоинформатика*, 2016. № 1, С. 64-67.
8. Webb E.E., Liljedahl A.K. Diminishing lake area across the northern permafrost zone // *Nature Geoscience*. 2023. Vol. 16, pp. 202-209, DOI: 10.1038/s41561-023-01128-z.
9. Meteorological reanalysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Meteorological_reanalysis.
10. Полищук В.Ю., Куприянов М.А., Полищук Ю.М. Прогнозирование динамики размеров термокарстовых озер в Арктической зоне Таймыра на основе регрессионной модели и спутниковых данных / В сб. Доклады Российского науч.-техн. Общества радиотехники, электроники и связи им. А. Попова. Материалы Междун. Симпозиума. Серия: «Научные Международные симпозиумы. Проблемы экоинформатики. Выпуск 15». Под ред. Ф.А. Мкртчяна, 2022, С. 14-18.

THE REMOTE STUDY OF THE INFLUENCE OF CLIMATE ON THE DYNAMICS OF THERMOKARST LAKES IN THE KOLA ARCTIC

Polishchuk Y.M.¹, Kupriyanov M.A.¹, Polishchuk V.Y.^{2,3}

¹Ugra Research Institute of Information Technology, Khanty-Mansiysk, 628011, Russia

²Institute of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, 634055, Russia

³Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 634004, Russia

The influence of climate changes on the dynamics of the thermokarst lakes of the Kola Arctic was studied based on the analysis of the relationship between changes in climatic parameters and the areas of the thermokarst lakes of the studied territory for the period 1985-2021. The time series of the lake areas obtained from the medium resolution Landsat satellite images at 14 test sites show, on average, a decrease in the size of the lakes. The time series of mean annual air temperature and annual precipitation generated from reanalysis data using the ERA-5 system show, on average, an increase in air temperature and precipitation over time. Multivariate regression analysis of the time series of lake areas and climatic parameters showed that the greatest contribution to the reduction of lake sizes is made by temperature changes, and the influence of precipitation is negligible.

The study was supported by grant of the RSCF, project No. 22-11-20023.

Keywords: thermokarst lakes, climate changes, space images, Arctic.

ПРИРОДОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: БИОСОЛНЕЧНЫЕ КРЫШИ

Д.б.н., проф. Голубева Е.И., к.г.н., преп., к.г.н. Саянов А.А., в.н.с., к.ф.-м.н. Киселева С.В.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
географический факультет

Здания, построенные на основе применения зеленых энергосберегающих технологий – это, прежде всего жилье, где максимально реализующее идеи рационального отношения к возобновляемым и невозобновляемым природным ресурсам. Использование инновационных природосберегающих технологий в городском строительстве решает ряд экологических, экономических и социальных проблем. Среди основных это - экономия невозобновимых природных ресурсов за счет снижения расходов на отопление и освещение и соответственно, снижение эксплуатационных затрат; улучшение экологической обстановки в городе за счет создания дополнительных озелененных пространств, регулирующих шумовую нагрузку, уменьшая влияние городского острова тепла, обеспечивая поступление кислорода, поглощение углекислого газа, снижая опасность подтопления и создание новых рекреационных зон для комфортных и экологически безопасных условий проживания населения.

В статье рассмотрены возможности применения комплексных инновационных технологий в зеленом строительстве – биосолнечных крыш, внедрение которых требует учета географических факторов и расширяет региональные возможности энергосбережения и развития зеленой инфраструктуры. Объединение технологий зеленых крыш и солнечной электроэнергетики предусматривает расположение на кровлях зданий не только почвенного покрова и зеленых насаждений, но и солнечных фотоэлектрических модулей. Показано, что объединение двух технологий обеспечивает повышение эффективности фотоэлектрических систем и, таким образом, расширяет общий положительный вклад зеленых крыш в оздоровление городской среды.

Исследования показывают, что уровень потребления энергии в строительном секторе очень высок и составляет от 40% в развитых странах до 20% в развивающихся странах). Разработаны различные инженерные и конструкционные методы оптимизации энергопотребления в зданиях, но особенно широкие возможности возникают при использовании свободных площадей крыши. Верхняя поверхность зданий испытывают непосредственное воздействие солнечного излучения, осадков, температурного режима окружающей среды, поэтому использование современных зеленых технологий в приложении к крышам дает возможность минимизировать негативные эффекты и обернуть их в положительные результаты. Так, поверхность крыш в последние десятилетия активно используется для размещения солнечных фотоэлектрических модулей (панелей) и солнечных коллекторов, которые покрывают растущие потребности в тепловой и электрической энергии и при этом обладают высокой степенью автоматизации и автономности. Эти факторы делают их чрезвычайно привлекательным решением в странах с высоким уровнем ресурсов солнечной энергии (Горохов, 2008; Табунщиков, Наумов, Миллер, 2012; Зеленое строительное переустройство зданий, сооружений, 2021; Корниенко, 2021 и др.) .

С другой стороны, крыши представляют собой обеспеченное коммуникациями пространство, пригодное для размещения зеленых насаждений, ценность которых в городской среде трудно преувеличить. Технологии зеленых крыш и солнечной энергетики считаются устойчивыми решениями для зданий, поскольку они удовлетворительны с точки зрения энергоэффективности. Сочетание двух технологий – зеленых крыш и солнечной энергетики – привело к формированию инновационного решения в зеленом строительстве – биосолнечная кровля (рисунок 1). В некоторой степени это можно рассматривать как распространение технологий агрофотовольтаики (размещение солнечных электростанций на плантациях сельскохозяйственных культур) на городскую застройку. Как показали исследования (Kohler M., et al. 2007), при интеграции зеленой крыши и фотоэлектрических модулей снижается температура поверхности последних, что приводит к повышению их эффективности примерно на 6% по сравнению с размещением модулей на битумной крыше. Изучение влияния фотоэлектрических панелей на биоразнообразие растительных сообществ зеленых крыш показало, что результаты определяются рядом параметров, таких как масштаб проекта и погодные-климатические условия места, однако являются во всех случаях положительными (Butner K.A., et al. 2016).



Рисунок 1. Комбинированная система кровельного озеленения и солнечных панелей.
Офисное здание, Ютендорф, Швейцария (источник: optigruen.com)

Очевидными преимуществами предложенного комплексного решения являются следующие аспекты (рисунок 2):

- почвенный слой упрощает процесс установки (обеспечивает фундамент) для солнечных модулей;
- при установке солнечных модулей не нарушается гидроизоляция крыши;
- почвенный слой имеет более низкое альbedo и не увеличивает температуру модулей;
- фотоэлектрические модули не препятствуют доступа осадков к насаждениям и приводят к незначительному затенению, которое в ряде случаев благотворно действует на растения.

В ряде исследований проведен анализ эстетического восприятия фотоэлектрических зеленых крыш с учетом воздействия на окружающую среду, поскольку предпочтения конечного пользователя играют важную роль в формировании внешнего вида зданий в городских и сельских населенных пунктах. Исследования показывают, что 90% населения сосредотачивается на эстетике (Sánchez-Pantoja, Vidal, Pastor, 2018). С другой стороны, несомненны преимущества биосолнечных крыш с экологической и социальной точек зрения: эта технология реализует использование возобновляемого источника энергии, способствует повышению энергоэффективности зданий, напрямую (через зеленые насаждения) и опосредованно (в связи с экономией углеводородного топлива) ведет к оздоровлению окружающей среды.

Энергия, производимая фотоэлектрическими системами, значительно снижается из-за осаждения пыли на поверхности панелей. При изучении влияния пыли на эффективность панелей в ОАЭ обнаружено, что выработка электроэнергии снизилась примерно на 10% через пять недель наблюдений вследствие запыленности воздуха по сравнению с фотоэлектрическими модулями с очищаемой поверхностью. В системах биосолнечных крыш мелкие частицы пыли могут оседать на растениях, и поэтому запыленный воздух фильтруется и очищается (Mani, et al. 2010).

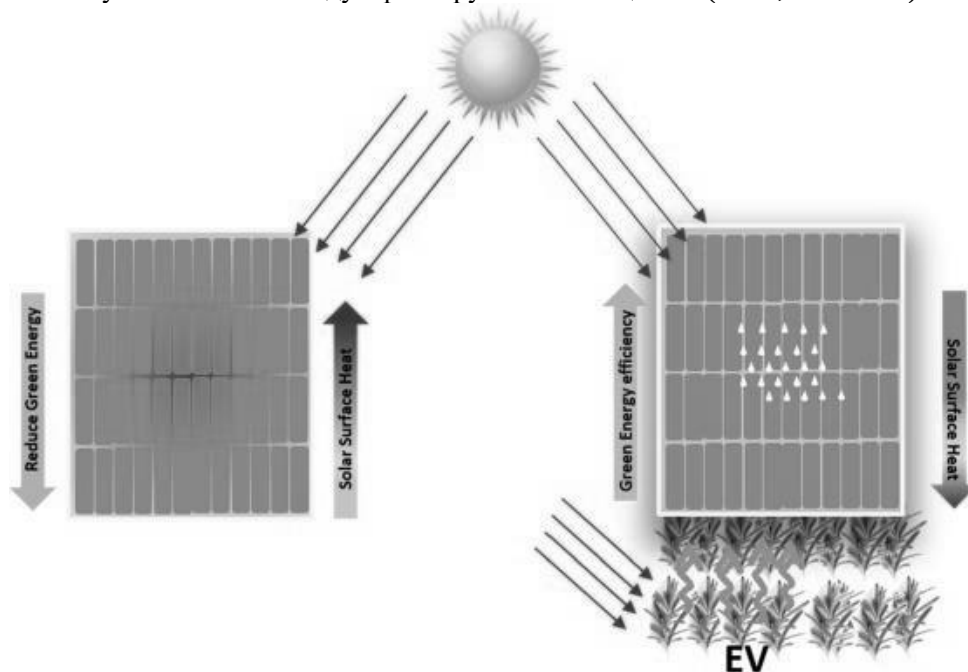


Рис2. Влияние зеленой кровли на солнечные панели. Источник: ShafiqueM., LuoX., ZuoJ., 2020.

Объединение технологий зеленых крыш фотоэлектроэнергетики влечет за собой также потенциальное снижение эффекта теплового острова в городских условиях, возможность поддержания комфортной температуры внутри здания (кондиционирование) с минимальными затратами дополнительной энергии (ChemisanaD., Lamnatou C., 2014). Приведенные выше результаты показывают, что сочетание зеленой крыши с фотоэлектрической системой может способствовать увеличению производства энергии и снижению плотности загрязнителей воздуха в городской среде.

Биосолнечные системы обычно организованы на кровлях экстенсивного типа, в основе растительного ассортимента используются очитки (Sedum), что обусловлено несколькими факторами:

- очитки не требовательны к условиям произрастания, могут выдерживать как затенение, так и высокую солнечную радиацию;
- обслуживание растений минимально, без дополнительного полива и особых требований по эксплуатации плантаций;

- высота взрослых растений редко превышает 20-30 см, что не производит к затенению фотоэлектрических панелей.

В перспективе возможно развитие кровельного озеленения природного типа, с нативной растительностью, выбор которой определяется природно-климатическими условиями места. Для продвижения технологий биосолнечных крыш, безусловно, необходимы экспериментальные исследования в различных климатических условиях, для определения региональных особенностей и эффективности.

Таким образом, биосолнечные крыши, как новое направление и технология зеленого строительства имеет целый ряд преимуществ, которые обеспечивают им высокий потенциал внедрения и значимость в сохранении качества городской среды:

- увеличение эффективности фотоэлектрических модулей (панелей): зеленая крыша защищает солнечные панели от перегрева, что увеличивает их выходную мощность и производительность;
- уменьшение затрат на охлаждение: зеленая крыша обеспечивает снижение температуры в здании, что позволяет снизить потребление энергии на кондиционирование и затраты;
- улучшение качества воздуха: зеленая крыша очищает воздух от загрязнений, в том числе от пыли, что повышает эффективность фотоэлектрических модулей;
- смягчение воздействия экстремальных погодных условий: зеленая крыша защищает конструкции солнечных панелей от механических повреждений (порывы ветра, интенсивные осадки);
- расширение зеленого пространства города в целях рекреации;
- увеличение звукоизоляции: зеленая крыша уменьшает уровень шума в помещениях, что может улучшить комфортность пребывания в здании и повысить его рейтинг на рынке жилых помещений.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

Литература.

1. Горохов В. А. Городское зеленое строительство, «Стройиздат», Москва, - 2008. – 416 с.
2. Зеленое строительное переустройство зданий, сооружений / А. И. Мохов, А. А. Саянов, В. И. Светлаков, А. В. Стройков // Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник. Вып. 16. Ч. 1: Материалы XX Национальной научной конференции с международным участием Модернизация России: приоритеты, проблемы, решения/ РАН. ИНИОН. Отд. науч. сотрудничества; Отв. ред. В.И.Герасимов. — М.: М., 2021. — С. 631–634.
3. Корниенко С.В. Здания высоких технологий // Зеленое строительство – инновационный и социально значимый элемент повышения устойчивости среды. № 3, 2021.
4. Табунщиков Ю.А., Наумов А.Л., Миллер Ю.В. Критерии энергоэффективности в «зеленом» строительстве//Энергосбережение. 2012. № 1. С. 1-9.
5. Chemisana D., Lamnatou C. (2014). Photovoltaic-green roofs: An experimental evaluation of system performance. *Applied Energy*, 246-256. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.12.027>
6. Jahanfara A., et al. (2018). Evaluating the shading effect of photovoltaic panels on green roof discharge reduction and plant growth. *Journal of Hydrology*.
7. Butner K.A., et al. (2016). Initial insights on the biodiversity potential of biosolar roofs: a London Olympic Park green roof case study. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 74-86.
8. Kohler M., et al. (2007). Interaction between PV-systems and extensive green roofs. The 5. annual international greening rooftops for sustainable communities conference, awards and trade show (pp. 1-16). Minneapolis, MN (United States): U.S. Department of Energy.
9. Mani, M., Pillai, R. (2010). Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3124- 3131.
10. Núria Sánchez-Pantoja, Rosario Vidal, M. Carmen Pastor (2018) Aesthetic impact of solar energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 98, 227-238.
11. Shafique M., Luo X., Zuo J., 2020 Photovoltaic-green roofs A review of benefits, limitations, and trends.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF GREEN CONSTRUCTION AND ENERGY SAVING IN SOLVING CITY ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE

Golubeva E.I., Sayanov A.A., Kiseleva S.V.

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography

Buildings built on the basis of the use of green energy-saving technologies are, first of all, housing, where the ideas of a rational attitude to renewable and non-renewable natural resources are maximally implemented. The use of innovative environmentally friendly technologies in urban construction solves a number of environmental, economic and social problems. Among the main ones are the saving of non-renewable natural resources by reducing the cost of heating and lighting and, accordingly, reducing operating costs; improving the ecological situation in the city by creating additional green spaces that regulate noise load, reduce the impact of the city's heat island, provide oxygen supply, absorb carbon dioxide, reduce the risk of flooding and create new recreational areas for comfortable and environmentally safe living conditions for the population.

The article considers a complex innovative technology in green building - biosolar roofs, the introduction of which requires taking into account geographical factors and expands regional opportunities for energy saving and the development of green infrastructure. Combining green roof and solar power technologies provides for the location on the buildings roofs not only of soil cover and green spaces, but also of solar photovoltaic modules. It is shown that the combination of the two technologies provides an increasing the photovoltaic systems efficiency and, thus, expands the overall green roofs positive contribution to the urban environment improvement.

АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА Г. БАЙКАЛЬСКА МЕТОДОМ РЕГРЕССИОННЫХ ДЕРЕВЬЕВ

асп. Жаксылыков Н.Б., проф., д.г.н. Кошелева Н.Е.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

На основе анализа почвенно-геохимических данных, собранных летом 2019 г., установлены факторы пространственного варьирования концентраций ПАУ в верхнем (0-10 см) горизонте почв г. Байкальска. Почвы города в течение многих десятилетий испытывали антропогенную нагрузку от промышленных выбросов и отходов Байкальского целлюлозно-бумажного комбината и местной ТЭЦ, а также авто- и железнодорожного транспорта. Метод регрессионных деревьев позволил оценить влияние почвенных свойств и антропогенных условий на интенсивность накопления тяжелых, легких структур и суммы ПАУ, а также флуорантена и бенз(б)флуорантена, являющихся наиболее значимыми поллютантами городских почв. Ведущими факторами накопления суммы полиаренов и тяжелых ПАУ являются щелочно-кислотные условия и органическое вещество почв. Накопление легких структур контролируется преимущественно величиной pH, а также удельной электропроводностью водной вытяжки и содержанием фракции тонкого песка. Накопление 4-кольчатого флуорантена зависит от гранулометрического состава почв, но влияние той или иной фракции неоднозначно, так как в зависимости от источника данный полиарен может поступать в составе разных фракций. Аккумуляция 5-кольчатого бенз(б)флуорантена регулируется в основном щелочно-кислотными условиями, но когда pH опускается ниже 7,65 и при обедненности фракцией мелкой и средней пыли она определяется органической частью почв.

Введение. Загрязнение почвенного покрова г. Байкальска (Иркутская область) происходило в течение нескольких десятилетий (1966-2013 гг.), когда функционировало градообразующее предприятие города – Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат (БЦБК). За это время в почвах г. Байкальска накопились различные загрязнители, в том числе полициклические ароматические углеводороды (ПАУ, полиарены), выступающие одними из приоритетных поллютантов городской среды. Отходы целлюлозно-бумажного производства в виде шлам-лигнина были размещены в специализированных полигонах (картах-накопителях) на окраинах города. Экологическая опасность загрязнения почв г. Байкальска обусловлена расположением города на берегу оз. Байкал – объекта всемирного наследия ЮНЕСКО. Накопление поллютантов в городских почвах создает угрозу их миграции в воды озера.

ПАУ – это органические соединения, состоящие из нескольких конденсированных бензольных колец. ПАУ содержатся в выбросах разных промышленных производств, автотранспорта, ТЭЦ, образуются при добыче и сжигании угля. Высокая экологическая значимость данных соединений обусловлена большой токсичностью многих ПАУ, они обладают также канцерогенной и мутагенной активностью. Почвы выступают основной депонирующей средой для ПАУ. Они попадают из

загрязненного воздуха с пылью, аэрозолями, атмосферными осадками и в процессе трансформации почвенного органического вещества [2].

Цель работы – изучить особенности накопления и распределения ПАУ в почвенном покрове г. Байкальска методом регрессионного анализа. В основу работы положены результаты почвенно-геохимической съемки на территории г. Байкальска в июле 2019 г. Решались следующие задачи: 1) методом регрессионных деревьев построить дендрограммы, характеризующие накопление полиаренов в городских почвах; 2) определить основные факторы накопления ПАУ в почвах г. Байкальска.

Исследуемая территория. Байкальск расположен на подгорной равнине в предгорьях хребта Хамар-Дабан. Природные ландшафты территории исследования относятся к Джидинско-Хамар-Дабанской провинции Южно-Сибирско-Хангай-Хэнтэйской горной области [4]. Город является самым снежным и дождливым на побережье озера Байкал со средней многолетней температурой воздуха $-0,7^{\circ}\text{C}$ и средним количеством атмосферных осадков 859 мм/год. Среднегодовая скорость ветра в городе достигает 2,5 м/с, наибольшая ветровая активность характерна для апреля (2,9 м/с), преобладающими в течение года являются ветры северо-восточного (20,3%), северного (18%) и восточного (15,1%) направлений, дующие с Байкала. В холодный период устанавливается область высокого давления воздуха – сибирский антициклон, сопровождающийся мощными температурными инверсиями [4].

Почвы относятся к Хамар-Дабанскому округу подбуров, бурозёмов грубогумусных, дерново-подзолов, подзолов, криозёмов, литозёмов с четко выраженной высотной поясностью [4]. Наибольшее распространение на территории Байкальска имеют горные подбуры [3], характеризующиеся малой мощностью профиля (< 40 см). Так как почвенный покров города испытывает многолетнюю антропогенную нагрузку, он в той или иной степени преобразован, а на отдельных участках деградирован, морфологические, физико-химические, химические свойства и режимы функционирования почв изменены. Профиль городских почв включает один или несколько урбиковых горизонтов U1, U2, сформированных из своеобразного пылевато-гумусового субстрата разной мощности. Поверхностный горизонт часто представляет собой органоминеральный, насыпной, перемешанный субстрат с включениями строительно-бытового мусора мощностью около 5-10 см.

Основным источником загрязнения почв г. Байкальска являются отходы производства БЦБК – шлам-лигнин и зола ТЭЦ, а также выбросы авто- и железнодорожного транспорта. Город является крупным железнодорожным узлом на Транссибирской магистрали, через него проходит также федеральная автотрасса «Байкал», соединяющая Иркутск с Улан-Удэ.

Материалы и методы исследования. Опробование верхнего (0-10 см) горизонта городских почв проведено по регулярной сетке с шагом 500-700 м, согласно европейской методике. Пробы почв отбирались в разных функциональных зонах. В качестве природного фона опробованы почвы в ненарушенных ландшафтах за пределами и на окраинах города. Всего было отобрано 68 проб почв и 4 пробы отходов из карт-накопителей БЦБК и золы ТЭЦ. Смешанные пробы составлялись из 3-5 индивидуальных, отобранных на расстоянии в 3-5 м. Содержание ПАУ в почвах, золе и отходах определялось методом низкотемпературной спектрофлуориметрии в лаборатории углеродистых веществ биосферы географического факультета МГУ. Основные свойства почв анализировались общепринятыми методами.

Для выявления факторов, определяющих аккумуляцию ПАУ в верхних горизонтах почв Байкальска, использован многофакторный метод регрессионных деревьев в пакете SPLUS [1]. Учитывались ландшафтные и техногенные условия на исследуемой территории: основные свойства почв (рН, удельная электропроводность ЕС водной вытяжки, содержание органического углерода *Сорг*, содержание мелкой и средней (1-10 мкм), крупной (10-50) пыли, тонкого (50-250), среднего и крупного (250-1000) песка), а также принадлежность к той или иной функциональной зоне, которая определяет специфику источников загрязнения и уровень геохимической нагрузки. Результаты анализа представляются в виде дендрограмм.

Результаты исследования. В аккумуляции полиаренов физико-химические условия в почвах Байкальска имеют определяющее значение. ПАУ накапливаются преимущественно в щелочных условиях среды, при $\text{pH} > 7,65$ они выносятся из верхнего горизонта, а легкие структуры ПАУ подвергаются деструкции и улетучиваются (рис. 1). Вторым по значимости фактором, определяющим накопление ПАУ, выступает содержание органического углерода. При концентрациях органического углерода *Сорг* $> 7,8\%$ наблюдается почти 4-кратное усиление аккумуляции ПАУ, при этом она зависит от реакции среды: если $\text{pH} < 5,75$, то суммарное содержание ПАУ всего 3173 нг/кг, при $5,75 < \text{pH} < 6,3$ накопление достигает максимума (до 41950 нг/г). Это свидетельствует о формировании щелочного и биогеохимического барьеров, на которых происходит аккумуляция полиаренов.

При содержании органического углерода менее 7,8% распределение полиаренов зависит от гранулометрического состава почв и принадлежности к определенной функциональной зоне города. Повышенное накопление ПАУ отмечено в почвах с более высокими концентрациями фракции мелкой и средней пыли и среднего и крупного песка, что свидетельствует о преимущественном поступлении ПАУ в составе именно этих фракций техногенных выбросов. В этих условиях аккумуляция ПАУ в промышленной, селитебной среднеэтажной и рекреационной зонах усиливается в 2,5 раза по сравнению с другими зонами.

В распределении тяжелых структур и суммы ПАУ участвуют сходные механизмы и факторы. Главными факторами накопления тяжелых полиаренов являются щелочно-кислотные условия и органическое вещество почв (рис. 2А). Аккумуляция высокомолекулярных ПАУ в щелочном диапазоне ($\text{pH} > 7,65$) в 3,5 раза активнее, чем в нейтральной и кислой среде. При $\text{pH} < 7,65$ накопление тяжелых полиаренов значительно (в среднем в 4,5 раза) возрастает при $\text{C}_{\text{орг}} > 7,8 \%$ и достигает максимума 19330 нг/г в диапазоне $\text{pH} 5,75\text{--}7,65$. Тяжелые структуры ПАУ при более низких значениях $\text{C}_{\text{орг}}$ интенсивно накапливаются в почвах, обогащенных частицами 1-10 мкм. Вероятно, значительная их часть поступает из аэротехногенных потоков с частицами именно такой размерности. Наиболее высокие концентрации высокомолекулярных полиаренов наблюдаются в почвах промышленной и многоэтажной селитебной зон.

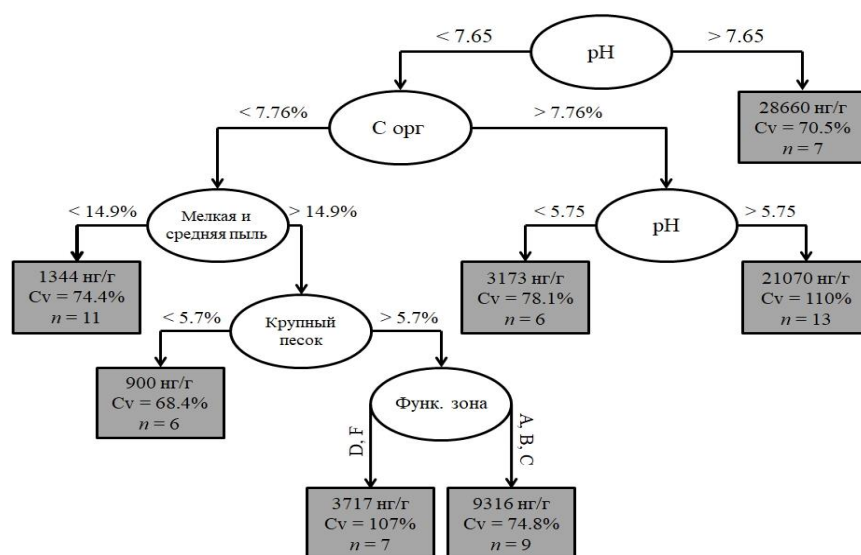


Рисунок 1. Распределение суммы ПАУ в почвах Байкальска при различных сочетаниях антропогенных и ландшафтных факторов. Для каждого конечного узла приводится средняя сумма ПАУ, коэффициент вариации C_v и число точек опробования n . Функциональные зоны: А – промышленная, В – рекреационная, С – селитебная многоэтажная, D – селитебная одноэтажная, E – автотранспортная, F – железнодорожная транспортная.

В распределении легких полиаренов в городских почвах приоритетным фактором являются кислотно-щелочные условия: аккумуляция ПАУ происходит на щелочном барьере (рис. 2Б). При $\text{pH} < 7,65$ наибольшие концентрации 2-3-кольчатых ПАУ установлены в почвах многоэтажной селитебной зоны. В других функциональных зонах легкие ПАУ интенсивнее накапливаются при удельной электропроводности $\text{ЕС} > 169 \text{ мкСм/см}$ и содержании фракции тонкого песка $> 44,2 \%$.

Среди тяжелых ПАУ лидирует флуорантен, на долю которого приходится 65,8% их суммы. Распределение этого полиарена контролируется гранулометрическим составом почв, при этом однозначной зависимости от содержания тех или иных фракций не наблюдается, что, очевидно, объясняется нахождением полиарена в частицах разной размерности в зависимости от источника (рис. 2В). По результатам регрессионного анализа установлено, что местами фракция тонкого песка обеднена флуорантеном и он аккумулируется в частицах крупной пыли диаметром 10-250 мкм. При повышенных содержаниях тонкого песка ($> 37\%$) и крупной пыли ($> 35\%$) его среднее содержание максимально – 25230 нг/г. Такие высокие концентрации флуорантена выявлены в разных частях Байкальска, но всех их объединяет приуроченность к Транссибирской магистрали и федеральной автотрассе «Байкал», т.е. поступление полиарена обусловлено выбросами транспортной зоны. Уровень

флуорантена здесь в 4 раза выше по сравнению с почвами, где тонкого песка меньше 37%. В этих условиях отмечено довольно интенсивное накопление флуорантена (11000 нг/г), если содержание крупной пыли < 30,4%. Когда вклад фракции крупной пыли превышает 30,4%, но почва обеднена тонким песком (< 27,1%), флуорантен дает относительно невысокий пик содержания (6753 нг/г) в почвах промышленной зоны. Поступает флуорантен от промышленных выбросов в составе крупной фракции, при этом в почвах промышленной зоны аккумуляции данного полиарена усиливается в частицах диаметром 10-50 мкм.

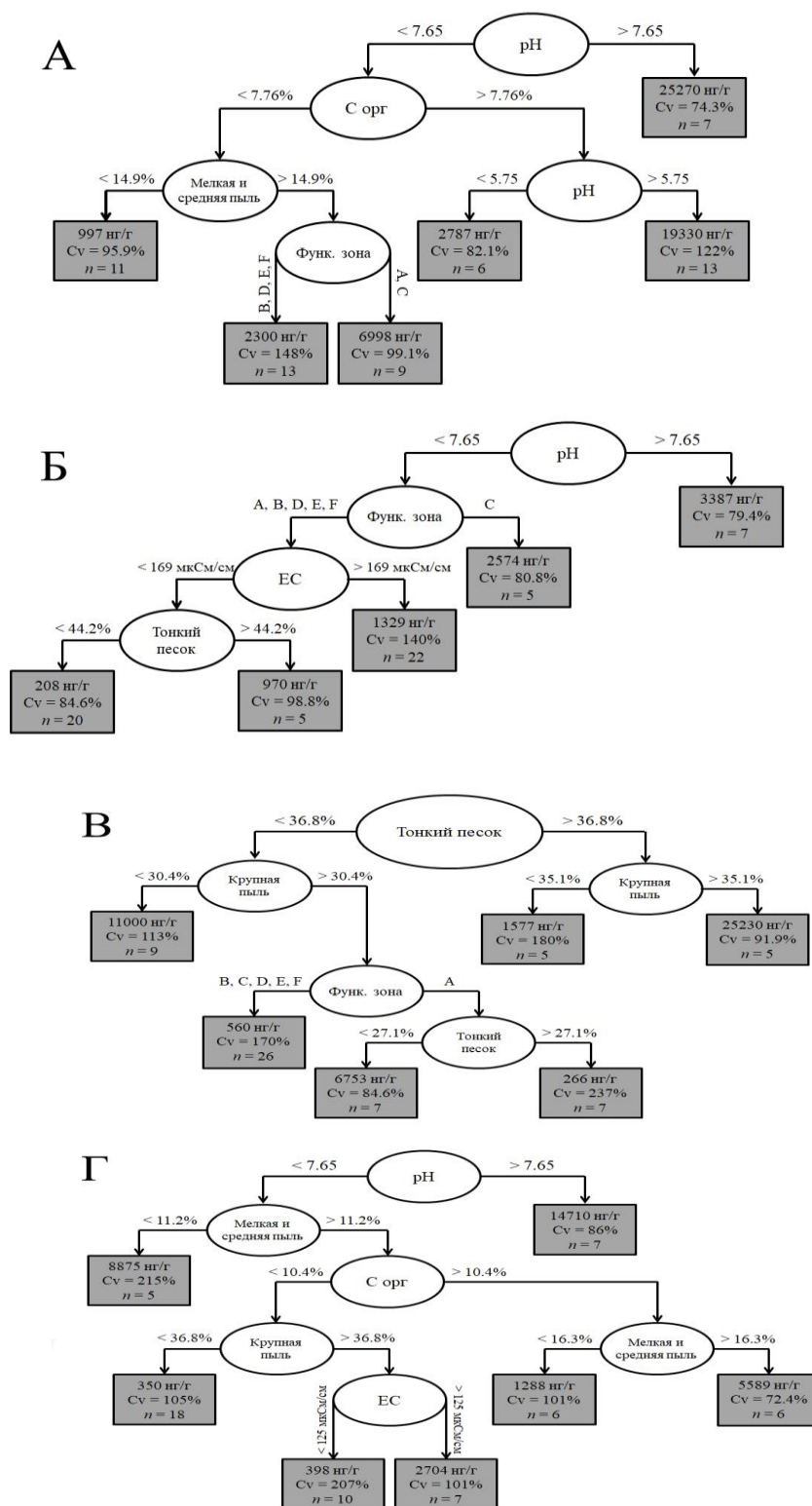


Рисунок 2. Распределение тяжелых (А) и легких (Б) ПАУ, флуорантена (В) и бенз(б)флуорантена (Г) ПАУ в почвах Байкальска при различных сочетаниях антропогенных и ландшафтных факторов. Расшифровка обозначений функциональных зон дана на рис. 1.

Накопление другого приоритетного поллютанта, 5-кольчатого бенз(б)флуорантена усиливается в щелочной среде: при $\text{pH} > 7,65$ средняя концентрация полиарена достигает 14710 нг/г, что в 1,7 раз больше, чем в нейтральных и кислых условиях (рис. 2Г). При $\text{pH} < 7,65$ наибольшая концентрация бенз(б)флуорантена 8875 нг/г наблюдается при обедненности ($< 11,2\%$) частицами диаметром 1-10 мкм. Если этих частиц становится больше, накопление бенз(б)флуорантена регулируется органической частью почв. При высоком содержании органического углерода ($> 10,4\%$) и частиц мелкой и средней пыли ($> 16,3\%$) концентрация полиарена достигает максимума (5589 нг/г). При меньшем содержании органического углерода ($< 10,4\%$), более высоком содержании крупной пыли ($> 37\%$) и повышенной удельной электропроводности (> 125 мкСм/см) средняя концентрация бенз(б)флуорантена повышается до 2704 нг/г.

Закключение. Накопление полиаренов в почвенном покрове Байкальска определяется преимущественно щелочно-кислотными условиями и органическим веществом. Распределение тяжелых структур практически идентично аккумуляции суммы ПАУ в городе. Концентрация высокомолекулярных ПАУ выше в щелочных условиях, в нейтральной и кислой среде она усиливается с ростом содержания органического углерода. Распределение 2-3-кольчатых ПАУ в городских почвах контролируется кислотно-щелочными условиями, удельной электропроводностью и содержанием фракции тонкого песка. Накопление флуорантена, одного из приоритетных поллютантов почв города, зависит от гранулометрического состава почв, но без четкой связи с содержанием тех или иных фракций, что указывает на его привнос в частицах разных фракций в зависимости от источника. Аккумуляция бенз(б)флуорантена определяется щелочно-кислотными условиями, а в случаях, когда pH опускается ниже значения 7,65 и при обедненности мелкой и средней пылью, лимитируется органической частью почв.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и РГО (проект № 17-29-05055\17), оценка экологической опасности загрязнения ПАУ – в рамках проекта РНФ № 19-77-30004-П.

Литература

1. Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Власов Д.В. Факторы накопления тяжелых металлов и металлоидов на геохимических барьерах в городских почвах // Почвоведение. 2015. № 5. С. 536–553.
2. Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е. Полициклические ароматические углеводороды в городских почвах (Москва, Восточный округ) // Почвоведение. 2011. № 9. С. 1114-1127.
3. Почвенная карта РСФСР. М. ГУГК, 1988.
4. Экологический атлас бассейна озера Байкал. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2015, 145 с.

ANALYSIS OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS POLLUTION OF THE SOIL COVER IN THE CITY OF BAIKALSK USING REGRESSION TREES METHOD

Zhaxylykov N.B., Kosheleva N.E.
Lomonosov Moscow State University

Based on the analysis of soil-geochemical data collected in the summer of 2019, the factors of spatial variation in PAH concentrations in the upper (0-10 cm) soil horizon of the city of Baikalsk were determined. For many decades, the soils of the city have experienced an anthropogenic load from industrial emissions and waste from the Baikal Pulp and Paper Mill and the local thermal power plant, as well as from road and rail transport. The method of regression trees made it possible to evaluate the influence of soil properties and anthropogenic conditions on the intensity of accumulation of heavy and light structures and the amount of PAHs, as well as fluorene and benzo(b)fluorene, which are the most significant pollutants in urban soils. The alkaline-acid conditions and soil organic matter are the leading factors in the accumulation of the sum of polyarenes and heavy PAHs in soils. The accumulation of light structures is mainly controlled by the pH value, as well as the electrical conductivity of the water extract and the content of the fine sand fraction. The accumulation of 4-ringed fluorene depends on the texture of soils, but the influence of one or another fraction is ambiguous, since, depending on the source, this polyarene can enter as a part of different fractions. The accumulation of 5-ring benzo(b)fluorene is predominantly regulated by alkaline-acid conditions, but when the pH drops below 7.65 and the fraction of fine and medium dust is depleted, it is determined by the organic part of soils.

МОДЕЛИ С ПОВЫШЕННОЙ СТЕПЕНЬЮ ИДЕНТИФИЦИРУЕМОСТИ НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА МАЛОГО БЛА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗОН ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КАТАСТРОФ

Неусыпин К.А., Пролетарский А.В., Ху Цяоцу, Сюй Цзясюэ

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Исследован способ повышения степени параметрической идентифицируемости моделей алгоритмического обеспечения навигационного комплекса беспилотного летательного аппарата малого класса, используемого для мониторинга зон экологических катастроф. Представлена компактная процедура параметрической идентификации и критерий степени параметрической идентифицируемости одного класса нелинейных систем.

Ключевые слова: экологическая катастрофа, беспилотный летательный аппарат, навигационный комплекс, параметрическая идентификация, критерий.

Рассмотрен беспилотный летательный аппарат (БЛА) малого класса, который используется при исследовании зон экологических катастроф, для мониторинга подстилающей поверхности Земли, в городских условиях в интересах МЧС, ликвидации последствий стихийных бедствий и пожарной охраны. БЛА должны обладать высокой точностью определения навигационных параметров для эффективного функционирования специализированной измерительной аппаратуры.

Современные навигационные комплексы (НК) исследуемого класса БЛА состоят из инерциальной навигационной системы (ИНС), приемника ГЛОНАСС и спецвычислителя.

НК имеет погрешности, связанные с незащищенностью радиоканала и применением ИНС низкого класса точности [1,2].

Повышение точности НК целесообразно проводить алгоритмическим путем [3,4,5].

В условиях маневрирования БЛА априорные нелинейные модели, используемые в алгоритмическом обеспечении НК становятся неадекватными реальным процессам. При маневрировании малых БЛА для сохранения адекватности модели погрешностей НК необходимо осуществлять параметрическую идентификацию моделей.

Алгоритмы идентификации позволяют определить отдельные параметры матрицы модели, структура которой задана априори.

Точность определения параметров модели зависит от свойств матрицы модели и точности алгоритма идентификации. Выбор используемого алгоритма идентификации определяется из соображений возможностей реализации в имеющемся вычислителе – спецвычислителе.

Современный уровень вычислительной техники позволяет реализовать на борту БЛА сложные алгоритмы коррекции, включающие математические модели погрешностей используемых измерительных систем (обычно модели погрешностей измерительных систем). В практических приложениях некоторые параметры матриц этих моделей достоверно неизвестны, поэтому осуществляется их идентификация.

В НК исследуемого БЛА применяются процедуры параметрической идентификации (ПИ) для линейных и нелинейных систем. ПИ нелинейных моделей осуществляется с применением SDC-представления [6].

Одним из перспективных подходов при решении задачи повышения точности идентификации является использование моделей с повышенными характеристиками идентифицируемости.

Для уменьшения приведенного измерительного шума предлагается увеличить степень параметрической идентифицируемости исследуемого параметра. Предложен критерий степени идентифицируемости параметров модели.

На практике для удобства обработки информации часто используется дискретная форма системы, в которой SDC-представление нелинейной системы имеет вид:

$$\begin{aligned}\mathbf{x}_{k+1} &= \Phi(t_k, \mathbf{x}_k) \mathbf{x}_k + \mathbf{G}(t_k, \mathbf{x}_k) \mathbf{w}_k; \\ \mathbf{y}_{k+1} &= \mathbf{H}(t_{k+1}, \mathbf{x}_{k+1}) \mathbf{x}_{k+1} + \mathbf{v}_{k+1}.\end{aligned}\quad (1)$$

Предполагается, что $\mathbf{w}_k$ и $\mathbf{v}_{k+1}$ являются гауссовскими «белыми» некоррелированными шумами, причём для любых j и k , v_j и w_k некоррелированы между собой (т.е. $M[\mathbf{v}_j \mathbf{w}_k^T] = 0$).

В практических приложениях часто необходимо помимо принципиальной возможности идентифицировать параметры матрицы модели исследуемого процесса, иметь информацию о качестве идентификации. Под качественными характеристиками процесса идентификации будем понимать интервал времени, за который можно идентифицировать параметр с заданной точностью и возможную достижимую точность определения параметра.

Для определения степень идентифицируемости параметров нелинейных моделей динамических систем используем следующий критерий.

Пусть уравнение объекта в SDC-представлении и уравнение измерений имеют вид (1). В этом случае вектор состояния $\mathbf{x}_{k+n}$ можно выразить его значением в начальный момент $\mathbf{x}_k$ времени в виде

$$\begin{aligned}\mathbf{x}_{k+n} &= \Phi(t_{k+n-1}, \mathbf{x}_{k+n-1}) \cdots \Phi(t_k, \mathbf{x}_k) \mathbf{x}_k \\ &\quad + \Phi(t_{k+n-1}, \mathbf{x}_{k+n-1}) \cdots \Phi(t_{k+1}, \mathbf{x}_{k+1}) \mathbf{G}(t_k, \mathbf{x}_k) \mathbf{w}_k \\ &\quad + \cdots + \mathbf{G}(t_{k+n-1}, \mathbf{x}_{k+n-1}) \mathbf{w}_{k+n-1}.\end{aligned}\quad (2)$$

Подставив выражение $\mathbf{x}_{k+n}$ в уравнение измерений $\mathbf{y}_{k+n}$, получим

$$\begin{aligned}\mathbf{y}_{k+n} &= \mathbf{H}_{k+n} \Phi(t_{k+n-1}, \mathbf{x}_{k+n-1}) \cdots \Phi(t_k, \mathbf{x}_k) \mathbf{x}_k \\ &\quad + \mathbf{H}_{k+n} \Phi(t_{k+n-1}, \mathbf{x}_{k+n-1}) \cdots \Phi(t_{k+1}, \mathbf{x}_{k+1}) \mathbf{G}(t_k, \mathbf{x}_k) \mathbf{w}_k \\ &\quad + \cdots + \mathbf{H}_{k+n} \mathbf{G}(t_{k+n-1}, \mathbf{x}_{k+n-1}) \mathbf{w}_{k+n-1} + \mathbf{v}_{k+n}.\end{aligned}\quad (3)$$

Подставив в уравнение (3) выражение $\mathbf{x}_k$, получим

$$\begin{aligned}\mathbf{y}_{k+n} &= \mathbf{H}_{k+n} \Phi(t_{k+n-1}, \mathbf{x}_{k+n-1}) \cdots \Phi(t_k, \mathbf{x}_k) \mathbf{O}_k^+ \mathbf{y}_k^* \\ &\quad - \mathbf{H}_{k+n} \Phi(t_{k+n-1}, \mathbf{x}_{k+n-1}) \cdots \Phi(t_k, \mathbf{x}_k) \mathbf{O}_k^+ \mathbf{v}_k^* \\ &\quad + \mathbf{H}_{k+n} \Phi(t_{k+n-1}, \mathbf{x}_{k+n-1}) \cdots \Phi(t_{k+1}, \mathbf{x}_{k+1}) \mathbf{G}(t_k, \mathbf{x}_k) \mathbf{w}_k \\ &\quad + \cdots + \mathbf{H}_{k+n} \mathbf{G}(t_{k+n-1}, \mathbf{x}_{k+n-1}) \mathbf{w}_{k+n-1} + \mathbf{v}_{k+n},\end{aligned}\quad (4)$$

где $\mathbf{O}_k^+ = [\mathbf{O}_k^{*T} \mathbf{O}_k^*]^{-1} \mathbf{O}_k^{*T}$ – псевдообратная матрица $\mathbf{O}_k^*$.

Введём обозначения

$$[\lambda_{1,k} \quad \lambda_{2,k} \quad \cdots \quad \lambda_{n,k}] = \mathbf{H}_{k+n} \Phi(t_{k+n-1}, \mathbf{x}_{k+n-1}) \cdots \Phi(t_k, \mathbf{x}_k) \mathbf{O}_k^+.\quad (5)$$

$$\begin{aligned}
\mathbf{v}_k^0 &= \gamma_{1,k} \mathbf{w}_k + \gamma_{2,k} \mathbf{w}_{k+1} + \dots + \gamma_{n,k} \mathbf{w}_{k+n-1} \\
&\quad - \lambda_{1,k} \mathbf{v}_k - \lambda_{2,k} \mathbf{v}_{k+1} - \dots - \lambda_{n,k} \mathbf{v}_{k+n-1} + \mathbf{v}_{k+n} \\
&= \mathbf{H}_{k+n} \Phi(t_{k+n-1}, \mathbf{x}_{k+n-1}) \dots \Phi(t_k, \mathbf{x}_k) \mathbf{O}_k^+ \mathbf{v}_k^* \\
&\quad + \dots + \mathbf{H}_{k+n} \mathbf{G}(t_{k+n-1}, \mathbf{x}_{k+n-1}) \mathbf{w}_{k+n-1} + \mathbf{v}_{k+n}.
\end{aligned} \tag{6}$$

Тогда постановка задачи сводится к определению неизвестных нестационарных элементов вектора-столбца $\begin{bmatrix} \lambda_{1,k} & \lambda_{2,k} & \dots & \lambda_{n,k} \end{bmatrix}$ по вновь сформированным измерениям.

$$\begin{aligned}
\lambda_{1,k} &= f_{1,k}(y_k, \dots, y_{k+2n-1}) + v_k^{00}; \\
\lambda_{2,k} &= f_{2,k}(y_k, \dots, y_{k+2n-1}) + v_{k+1}^{00}; \\
&\dots \quad \dots \quad \dots \\
\lambda_{n,k} &= f_{n,k}(y_k, \dots, y_{k+2n-1}) + v_{k+n-1}^{00},
\end{aligned} \tag{7}$$

где

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} f_{1,k}(y_k, \dots, y_{k+2n-1}) \\ f_{2,k}(y_k, \dots, y_{k+2n-1}) \\ \dots \\ f_{n,k}(y_k, \dots, y_{k+2n-1}) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} y_k & y_{k+1} & \dots & y_{k+n-1} \\ y_{k+1} & y_{k+2} & \dots & y_{k+n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{k+n-1} & y_{k+n} & \dots & y_{k+2n-2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} y_{k+n} \\ y_{k+n+1} \\ \dots \\ y_{k+2n-1} \end{bmatrix}; \\
\begin{bmatrix} v_k^{00} \\ v_{k+1}^{00} \\ \dots \\ v_{k+n-1}^{00} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} y_k & y_{k+1} & \dots & y_{k+n-1} \\ y_{k+1} & y_{k+2} & \dots & y_{k+n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{k+n-1} & y_{k+n} & \dots & y_{k+2n-2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v_k^0 \\ v_{k+1}^0 \\ \dots \\ v_{k+n-1}^0 \end{bmatrix}.
\end{aligned}$$

Критерии и идентифицируемости нелинейных систем

Для уменьшения приведенного измерительного шума предлагается увеличить степень параметрической идентифицируемости исследуемого параметра. Критерий степени идентифицируемости параметров модели имеет вид:

$$J = \mathbf{O}_k^+ = \left[\mathbf{O}_k^{*T} \mathbf{O}_k^* \right]^{-1} \mathbf{O}_k^{*T} \rightarrow \min. \tag{8}$$

В частном случае критерий степени идентифицируемости имеет следующий вид:

$$J = \left[\det \mathbf{O}_k^* \right]^2 \rightarrow \max. \tag{9}$$

Критерий отличается простотой и удобен в практических приложениях.

Выводы

Представлена процедура идентификации, отличающаяся простотой и удобна в практических приложениях для определения параметров нелинейных моделей алгоритмического обеспечения НК малого БЛА.

Разработан численный критерий степени идентифицируемости параметров нелинейных моделей динамических систем. Применение критерия справедливо для нелинейных систем, представимых с помощью SDC-метода.

Повышение точности ПИ предложено осуществить с помощью повышения степени параметрической идентифицируемости. Повышение точности навигационных определений БЛА позволит увеличить эффективность мониторинга зон экологических катастроф в труднодоступной местности.

Литература

1. Кай Ш., Пролетарский А.В., Неусыпин К.А. Исследование алгоритмов коррекции навигационных систем летательных аппаратов. Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение. 2016. № 2 (107). С.28-39.
2. Кай Ш., Селезнева М.С., Неусыпин К.А. Разработка алгоритма коррекции инерциальной навигационной системы в автономном режиме. Измерительная техника. 2017. № 10. С. 16-20.
3. Proletarsky A.V. Neusipin K.A. Reserch scalar filtering algorithm with selforganization method for modeling control system. Science and Military.2010. Т. 5. № 2. С. 80 – 82.
4. Proletarsky A.V. Neusipin K.A. Adaptive filtering for navigation systems of robot aircraft. Science and Military. 2010. Т.5. № 1. С. 75 – 79.
5. Bosse A., Tasker F., Fisher S. Real-time modal parameter estimation using subspace methods: applications // Mechanical Systems and Signal Processing. 1998. Vol. 12, no. 6. P. 809-823.
6. Ху Ц. и др. Разработка компактных алгоритмов параметрической идентификации для беспилотных летательных аппаратов // Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73. № 10. С. 473–479.

MODELS WITH A HIGH DEGREE OF IDENTIFICABILITY OF A SMALL UAV NAVIGATION COMPLEX FOR RESEARCH OF ENVIRONMENTAL DISASTER ZONES

Neusypin K.A., Proletarsky A.V., Hu Qiaotsu, Xu Jiaxue

Bauman MSTU

A method for increasing the degree of parametric identifiability of models of algorithmic support for the navigation complex of a small-class unmanned aerial vehicle used to monitor zones of environmental disasters has been studied. A compact procedure for parametric identification and a criterion for the degree of parametric identifiability of a class of nonlinear systems are presented.

Key words: ecological catastrophe, unmanned aerial vehicle, navigation complex, parametric identification, criterion.

ОЦЕНКА АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ В XXI ВЕКЕ

доц.А.К.Ахсалба¹, проф.Я.А.Экба², доц.Н.А.Лемешко³, доц.В.П. Евстигнеев⁴

¹Институт экологии Академии наук Абхазии г.Сухум, Республики Абхазия

²Абхазский государственный университет

³Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М.

Кирова, Санкт-Петербургский государственный университет

⁴Севастопольский государственный университет

Зависимость сельскохозяйственного производства от условий погоды довольно сложная - не существует оптимальных условий, одинаково благоприятных для всех отраслей сельского хозяйства и даже для всех выращиваемых в данной местности культур. Климатические условия Республики Абхазия, весьма разнообразны и неоднородны. Неоднородность почвообразующих пород, рельефа, климата и растительности, способствовали образованию на территории Абхазии разных почв. В работе установлены закономерности изменения температуры воздуха, количества выпадающих осадков, сумм активных температур и гидротермических коэффициентов по Республике Абхазия с учетом колебаний за последние 30 лет. Отмечено значительное повышение среднегодовых и среднемесячных температур воздуха, формирование неустойчивого характера увлажнения, с одновременным увеличением тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода.

Характерными чертами приморской зоны Абхазии являются высокие годовые амплитуды температур, это жаркое и сухое лето, малоснежная зима с частыми оттепелями. Наиболее точное представление о климате Абхазии дает рассмотрение ключевых климатических характеристик. Радиационные условия Республики Абхазия очень благоприятны. Длительность солнечного сияния в каждый из летних месяцев в приморской зоне Абхазии колеблется от 270 до 360 ч, немного уменьшаясь

в горных районах по причине увеличения закрытости горизонта и облачности. Годовая продолжительность солнечного сияния, на примере Сухума, составляет около 2250 ч.

Годовые значения суммарной солнечной радиации, определяемой как сумма прямой и рассеянной радиации, колеблются в пределах 125 -130 ккал/см², при этом общий вклад рассеянной радиации - 45-50%, что свидетельствует о господстве малооблачной погоды на большей части территории Абхазии [4]. Доля рассеянной радиации зимой приблизительно в 1,5 -2 раза больше, чем летом. Температура воздуха – это один из наиболее важных и распространенных показателей климата, а самое главное показатель формирующий тепло для сельскохозяйственных культур. Для произрастания сельхозкультур необходимо учитывать не только средний, но и абсолютный минимум температуры воздуха. В зимний период термические условия наименее стабильны, оттепели довольно часто чередуются с похолоданиями. Распределения осадков на территории Абхазии регулируются циркуляционными процессами, а вернее, преобладающими осадкообразующими воздушными массами. Буквально все осадкообразующие процессы связаны с западными влагонесущими массами. Средние годовые суммы осадков довольно контрастны. Большая часть осадков в приморской и предгорной зоне выпадает в жидком виде, на долю твердых и смешанных приходится не более 5 -8% от годовой суммы. Это вызвано малозначительной длительностью периода с устойчивыми отрицательными температурами воздуха.

Для исследования последствий глобального потепления применяют различные климатические показатели (индексы), в том числе для оценки изменения агроклиматических условий отдельных территорий и влияния на растительность и почвенный покров. В конце 1990-х гг. появились первые доказательства современного потепления климата, зафиксированные различными природными индикаторами [1]. Увеличение термических ресурсов и изменение характера увлажнения может оказать существенное влияние сроки вегетации растений, на продуктивность фотосинтеза, накопление биомассы, а также на почвенное плодородие.

Для оценки агроклиматических условий используют климатические показатели, определяющие теплообеспеченность растений, такие как, сумма активных температур воздуха и продолжительность вегетационного периода. Однако, необходимо учитывать режим увлажнения, поэтому наиболее востребованными климатическими индексами в агроклиматологии являются комплексные показатели, представляющие собой комбинацию температуры воздуха и атмосферных осадков, как, например, гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) [2]. Эти показатели широко используются для оценки агроклиматических условий при изменении климата [3].

Актуальной задачей не только климатологии, но и агроклиматологии стала сценарная оценка предстоящих изменений климата. Согласно оценкам специалистов возможно увеличение средней глобальной температуры воздуха на 1,5-2°С уже в ближайшие десятилетия. В настоящее время для прогноза состояния климатической системы широко используются модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО). В моделях теории климата в качестве параметра внешнего воздействия на климатическую систему будущего используются эмиссионные сценарии изменения концентрации парниковых газов в атмосфере, как основной причины глобального потепления.

Количество климатических моделей и исследовательских групп в разных странах мира значительно увеличилось за последние 50 лет. В 2014 г. число моделей составило более 70, а к 2021 г. выросло почти до сотни.

Для исследования выбраны 12 моделей общей циркуляции атмосферы и океана, входящие в CMIP6. Данные моделей сравнивались с данными наблюдений для метеорологических станций за 1984-2014 гг. по температуре воздуха, сумме атмосферных осадков, относительной влажности воздуха и агроклиматических показателей для Европейской территории России (ЕТР). На основе ранговой оценки 12 моделей рассчитан суммарный ранг каждой модели по шести статистическим характеристикам отклонения и определен итоговый рейтинг модели. Ни одна модель из 12 проанализированных МОЦАО не получила высший ранг по каждому из трех метеорологических элементов. Все модели завышают количество осадков. Несколько лучшие результаты были получены по температуре и относительной влажности воздуха. В результате анализа, был составлен ансамбль из лучших моделей, имевших рейтинг до 30 баллов: CNRM-CM6-1-HR, CanESM5, EC-Earth3, CESM2, NorESM2-MM, MIROC6, INM-CM5-0, CMCC-ESM2 и UKESM1-0-LL.

Использование ансамбля моделей позволило получить более достоверные оценки климата, чем для любой отдельной модели и рассчитать агроклиматические показатели и построить пространственные поля их распределения (сумма активных температур воздуха, продолжительность вегетационного, ГТК) [2]. Для указанных четырех траекторий были получены оценки температуры воздуха, атмосферных осадков и других характеристик климата, включая агроклиматические индексы

по различным социально-экономическим траекториям. В том числе, поля аномалий температуры воздуха, атмосферных осадков (за тёплый период), агроклиматических показателей (ГТК, БПК, суммы температуры воздуха выше +10°C) по ансамблю моделей на период 2041-2060 гг. относительно периода 1985-2014 гг. по различным социально-экономическим траекториям (Рис.1-2).

Анализ полученных значений для четырех траекторий социально-экономического развития показал: рост средней годовой температуры для района Черноморского побережья (в том числе Республики Абхазия) составит от 2°(SSP1,2) до 4°C (SSP4), сумма температуры воздуха выше +10°C по ансамблю моделей на период 2041-2060 гг. относительно периода 1985-2014 гг. увеличится значительно по всем социально-экономическим траекториям. Так, прогноз по SSP1 и SSP2 предполагает увеличение сумм температуры воздуха выше +10°C на 800°C, по SSP3-SSP5 – увеличится на 1000°C.

Если все сценарии указывают на рост теплообеспеченности исследуемой территории, то прогнозы осадков противоречивы не только по величине, но и по знаку. Это связано с особенностями географического распределения осадков и сложностями их параметризации в МОЦАО. Прогнозируемые суммы атмосферных осадков за тёплый период по ансамблю моделей к 2041-2060 гг. значительно отличаются для выбранных социально-экономических траекторий: от 300 мм до 800 мм. Для комплексной оценки изменения агроклиматических условий применен гидротермический коэффициент по Г.Т. Селянинову (ГТК) [2]. Этот коэффициент является комплексным агроклиматическим показателем, отражающим как теплообеспеченность: используется сумма температур воздуха выше +10°C и влагообеспеченность территории (по сумме атмосферных осадков за вегетационный период). Данный показатель рассчитывается по формуле:

$$ГТК = \frac{P_{\Sigma T > 10^{\circ}C}}{0,1 \Sigma T > 10^{\circ}C},$$

где $P_{\Sigma T > 10^{\circ}C}$ — сумма выпавших осадков за период со средними суточными температурами воздуха выше +10°C, $\Sigma T > 10^{\circ}C$ — сумма температур воздуха за тот же период. Сумма температур, уменьшенная в 10 раз, отождествляется с испаряемостью. Чем ниже значение ГТК, тем менее обеспечена влагой местность и наоборот.

Для анализируемых SSP значения ГТК уменьшаются 0,2-0,5 (Рис.2).

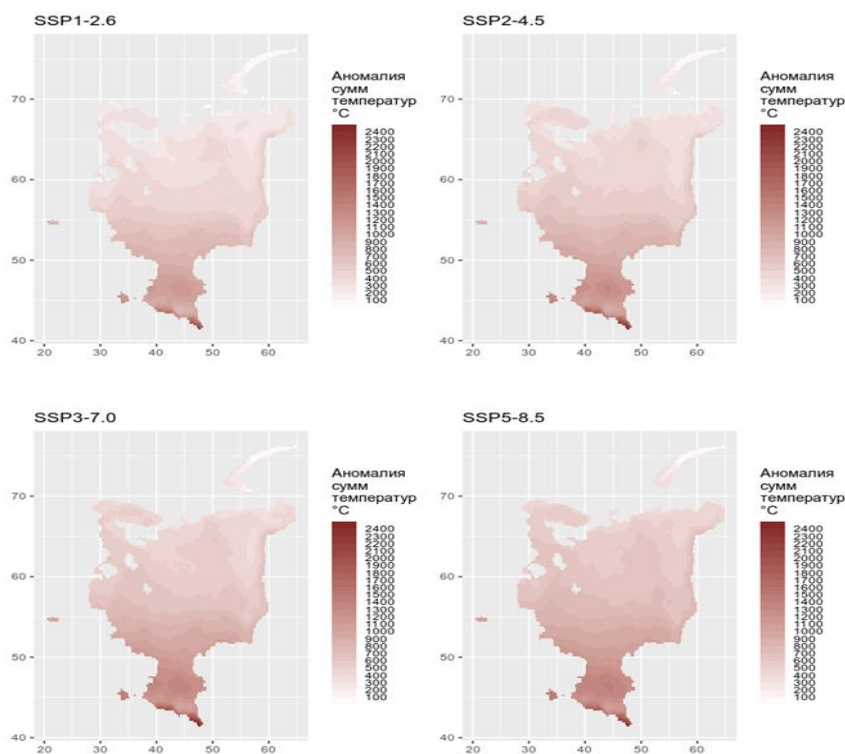


Рисунок 1 – Аномалии сумм температур воздуха выше +10°C по ансамблю моделей на период 2041-2060 гг. относительно периода 1985-2014 гг. по различным социально-экономическим траекториям.

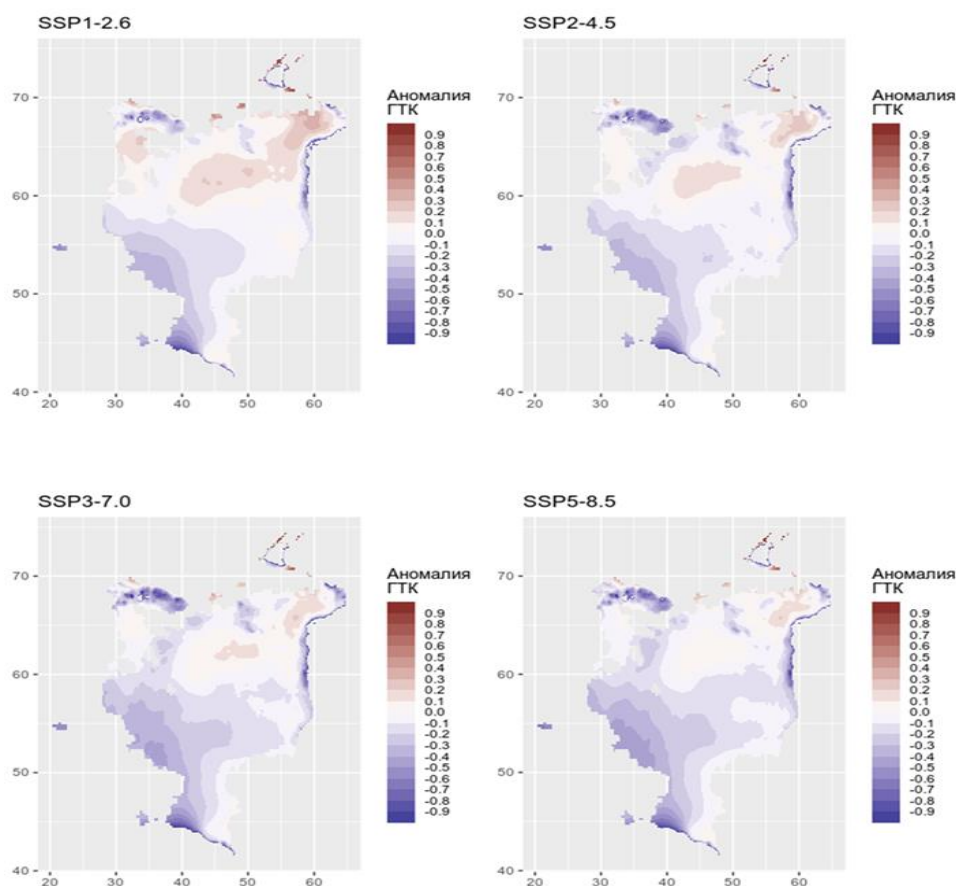


Рисунок 2 – Аномалии гидротермического коэффициента по ансамблю моделей на период 2041-2060 гг. относительно периода 1985-2014 гг. по различным социально-экономическим траекториям.

Таким образом, для района исследования анализ показал, что МОЦАО для разных социально-экономических траекторий достаточно надежны и возможны для использования в прогнозе для климатических и агроклиматических показателей, характеризующих равнинный климат, особенности же высотной поясности получить не удастся; достоверность и надежность их прогнозов недостаточна и использовать их возможно после проверки для конкретного региона способности воспроизводить климатическую норму.

Литература

1. Карантин растений в Абхазии/ Агрба А. А.,Шинкуба, М.Ш. Бигвава, А. Т. Вартагава В. Н., Мокроусова Л. А., Столярова Л. А., Хуапшыху И. К. -Нальчик - ООО «Тетраграф» - 2012. 223 с.
2. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по с.-х. метеорологии, 1928. Вып. 20. С. 169–178.
3. Лемешко Н.А., В.П. Евстигнеев, Морозов А.П., Русаков А.В. Применимость данных МОЦАО для оценки агроклиматических условий отдельных территорий // Системы контроля окружающей среды. 2021. Вып.3(45). С.23-30,doi: 10.33075/2220-5861-2021-3-23-30.
4. Экба Я.А., Ахсалба А.К., Марандиди С.И., Корсантия А.З. Трансформация атмосферных осадков на территории Абхазии в связи с региональным потеплением климата. Материалы Всероссийской открытой конференция по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Нальчик, «Принт Центр» 2021 г. С.460-464.

ASSESSMENT OF AGROCLIMATIC CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF ABKHAZIA IN THE XXI CENTURY

A.K. Akhsalba¹, Y.A. Ekba², N.A. Lemesko³, V.P. Evstigneev⁴

¹Institute of Ecology of the Academy of Sciences of Abkhazia, Sukhum, Republic of Abkhazia

²Abkhaz State University

³S. M. Kirov St. Petersburg State Forestry University, St. Petersburg State University

⁴Sevastopol State University

The dependence of agricultural production on weather conditions is quite complex - there are no optimal conditions that are equally favorable for all branches of agriculture and even for all crops grown in a given area. The climatic conditions of the Republic of Abkhazia are very diverse and heterogeneous. The heterogeneity of soil-forming rocks, relief, climate and vegetation contributed to the formation of different soils on the territory of Abkhazia. The paper establishes the patterns of changes in air temperature, the amount of precipitation, the sums of active temperatures and hydrothermal coefficients in the Republic of Abkhazia, taking into account fluctuations over the past 30 years. There was a significant increase in the average annual and average monthly air temperatures, the formation of an unstable nature of moisture, with a simultaneous increase in heat and moisture supply during the growing season.

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРИБРЕЖНЫХ ВОД СУХУМСКОЙ БУХТЫ

снс, канд.физ.-мат.наук, доц. Гицба Я.В.

Институт экологии Академии наук Абхазии, г. Сухум

В отличие от других морей и океанов в Черном море в сравнительно малом верхнем слое вода содержит кислород, а вся остальная толща вод, почти 90 % безжизненна, если не принимать во внимание анаэробных бактерий. Это море является единственным водоемом на земном шаре, в котором объем сероводорода достигает огромных размеров. Находящиеся в воде микроорганизмы в процессе своей жизнедеятельности используют растворенный в воде кислород для биохимического окисления органических соединений, в том числе загрязняющих веществ. Поэтому исследование структур гидрохимических полей в современный период является важной задачей химии вод Черного моря.

В связи с антропогенным загрязнением морской акватории Сухумской бухты влиянием хозяйственной деятельности, объектов курортной сферы, применения гербицидов и удобрений в сельском хозяйстве, бытовых отходов ЖКХ, необходимо проведение мониторинга в прибрежных водах для оценки его экологического состояния. Необходимо, следовательно, изучить распределение растворенного кислорода, поля концентраций ионов водорода, характеризующихся величиной водородного показателя (рН), как параметров, характеризующих качество вод акватории Сухумской бухты.

Изучение распределение растворенного кислорода и показателя водорода определяется их исключительной ролью в жизненно важных окислительно-восстановительных и биохимических процессах, протекающих в море.

Объекты и методы исследования. Наблюдения за гидрохимическим составом морской воды в акватории Сухумской бухты проводятся Абхазским государственным центром экологического мониторинга (АГЦЭМ) 2 раза в месяц: в первой и последней декаде. Наблюдения ведутся с 1998 года в следующих пунктах: район аварийного сброса «Эльбрус», Большой причал, Айтар, ГИАНА и Новый Афон. Измерения гидрохимических параметров в 2022 г. проводится в п. Маяк отделом гидрометеорологического и экологического мониторинга при содействии отдела водных ресурсов и динамики береговых процессов. При гидрохимических исследованиях, определяются параметры, характеризующие качество морской воды: активная реакция среды рН, растворенный кислород РК, соленость, электропроводность и степень насыщения воды кислородом в процентах.

Растворенный в морской воде кислород является одним из важнейших гидрохимических показателей состояния среды. Он обеспечивает существование водных организмов и определяет интенсивность окислительных процессов в морях и океанах. Определение концентрации кислорода в морской воде имеет громадное значение при изучении гидрологического и гидрохимического режимов морей и океанов. В океанографии растворенный в морской воде кислород определяют обычно по одной из модификаций объемного метода Винклера [1].

Относительное содержание кислорода в воде, выраженное в процентах его нормального содержания, называется степенью насыщения кислородом. Эта величина зависит от температуры воды, атмосферного давления и солености. Вычисляется по формуле:

$$M = \frac{a \cdot 101308}{n \cdot P}$$

где: М – степень насыщения воды кислородом, %; а – концентрация кислорода, мг/л; Р – атмосферное давление в данной местности, Па; n – нормальная концентрация кислорода при данной температуре, минерализации (солености) и общем давлении 101308 Па [2].

Водородным показателем pH называют отрицательный логарифм концентрации ионов водорода $[H^+]$, содержащихся в водном растворе:

$$-lg [H^+] = pH.$$

Экспериментально найдено, что в чистой воде $[H^+] = [OH^-]$ и составляет 10^{-7} г-ион/л, т. е. в нейтральной среде $pH = 7,0$, в кислой $pH < 7,0$, а в щелочной $pH > 7,0$ [2].

Количественно реакцию среды выражают при помощи pH - водородного показателя. Измерять водород в воде можно при помощи аналитических приборов: pH-метра и анализатора водорода, также методом титрования. Однако титрование подходит только для лабораторных условий, и малоприменимо для промышленного применения.

Определение солености. Аргентометрический метод, или метод определения солености морской воды по хлору, пока является наиболее распространенным и точным. Сущность метода определения хлорности заключается в том, что отмеренную пробу морской воды (15 мл) титруют раствором азотнокислого серебра ($AgNO_3$) определенной концентрации до прекращения образования белого творожистого осадка хлорного серебра ($AgCl$), т.е. полного осаждения всех галогенидов [3]. Данным методом пользуются в лаборатории АГЦЭМ.

Количество хлора (Cl %) определяют из соотношения

$$Cl\% = 0,3285234Ag \quad (1)$$

где: Ag – масса химически чистого серебра в граммах, необходимая для осаждения всех галогенидов, содержащихся в 1 кг морской воды;

Солёность (S%) для Черного моря получают с помощью уравнения:

$$S\% = 0,184 + 1,7950Cl\% \quad (2).$$

Для гидрохимических измерений морской воды в п. Маяк за 2022 г. использовалось портативное полевое устройство для анализа WTW Multi 3630, включающее встроенные датчики температуры и глубины, а также съемные датчики измерений pH IDS pH combined electrode SensoLyt 900-P, проводимости IDS Conductivity measurement cell TetraCon 925-P и кислорода IDS Oxygen measurement cell FDO 925-P.

Результаты исследований. Индекс кислотности является одним из важнейших показателей химического состава морской воды, меняющегося с увеличением парциального давления углекислого газа в атмосфере. Из-за антропогенных выбросов парниковых газов в атмосферу происходит уменьшение pH в морской воде. Оно отражает увеличение кислотности морской воды вследствие поглощения ею части избыточного атмосферного CO_2 . Поглощение углекислого газа (увеличение концентрации CO_2) приводит к уменьшению величины pH верхнего (деятельного) слоя вод.

Среднее многолетнее значение pH в акватории Сухумской бухты за период 1998-2022 гг. составляет 8,26 мг/л (табл.1).

Таблица 1. Среднемесячное распределение гидрохимических параметров в акватории Сухумской бухты 1998-2022 гг.

Месяц	Темпер. °C	pH	Раств. кислород мгO ₂ /л	Насыщ Кислор. %	соленост ь	БПК мгO ₂ /л	Перман. окисл. мгO ₂ /л
I	7,8	8,22	9,78	91,6	14,9	1,50	1,34
II	6,45	8,08	10,74	99,0	13,5	1,73	1,85
III	10,11	8,27	10,51	103,6	13,9	1,45	1,88
IV	13,83	8,19	10,10	105,5	12,50	2,05	1,89
V	17,47	8,33	10,44	106,1	13,13	1,89	2,02
VI	23,03	8,16	9,45	111,4	13,10	2,02	1,82
VII	25,29	8,30	8,03	97,9	14,23	1,82	1,68
VIII	27,26	8,26	7,64	96,7	16,67	2,00	1,81
IX	23,37	8,40	8,62	105,5	15,80	1,42	2,01
X	19,43	8,30	9,32	105,3	15,40	1,58	1,9
XI	14,94	8,33	9,23	101,8	16,00	2,24	1,92
XII	11,43	8,24	9,43	99,2	16,28	1,78	2,2

Повышенные значения рН наблюдаются в теплый период времени, с максимальным значением осенью (8,34) при переходе к зимне-весеннему периоду рН поверхностных вод снижается, и минимальные значения достигаются зимой (8,18). Такая сезонная динамика рН согласуется с сезонными изменениями факторов формирования рН.

Максимальное среднемесячное значение концентрации растворенного кислорода в феврале (10,74 мг/л) (см. табл. 1) объясняется наименьшим среднемесячным значением температуры морской воды. Коэффициент корреляции между концентрацией растворенного кислорода и температурой морской воды ($r=-0,81$) говорит о тесной связи между данными параметрами [4]. В летний период коэффициенты корреляции между содержанием РК и температурой морской воды имеет наибольшее значение ($r=-0,96$), что связано со значительным уменьшением концентрации кислорода вследствие прогрева вод. В весенний период ($r=-0,17$) динамика вертикального перемещения вод увеличивается, и содержание кислорода по глубине выравнивается. Многолетняя средняя концентрация растворенного кислорода в прибрежных поверхностных водах в акватории Сухумской бухты составляет 9,44 мг/л.

Повышение концентрации органического вещества в морской воде приводит к усилению биохимической потребности кислорода. Наибольшая среднемесячная величина БПК₅ для поверхностного слоя в период 1998-2022 гг. составляет 2,24 мг/л и наблюдается в ноябре, наименьшее значение – в январе (1,5 мг/л).

Значения БПК₅ в поверхностных водах морской акватории Сухума имеют тенденцию к повышению в летний период (1,98 мг/л), обусловленные поступлением в воду некоторой части органического вещества, фотосинтезируемые фитопланктоном и повышенным значением температуры в этот период и понижению – в зимний период (1,69 мг/л). Полученные данные позволяют установить связь между среднемесячным изменением величины БПК₅ с интенсивностью фотосинтеза фитопланктона. В ходе обработки табличных данных выявлено, что в отдельные сроки значения БПК превышали предельно допустимые нормы [5].

Значения биохимической потребности кислорода, превышающие предельно допустимую норму, носили эпизодический характер и наблюдались в основном в теплый период времени. Наиболее высокие значения БПК₅ наблюдались в п. Диоскурия [5].

Из сезонного распределения солёности в акватории Сухумской бухты следует, что в весенний период наблюдается наименьшее значение солёности (13,3‰) с минимальным значением в мае (12,5‰), что связано с максимальным количеством поступающего в море поверхностного и речного стока (рисунок 1). Наибольшее значение солёности наблюдается в августе (16,67‰), что объясняется повышением интенсивности испарения и уменьшением количества поверхностного стока.

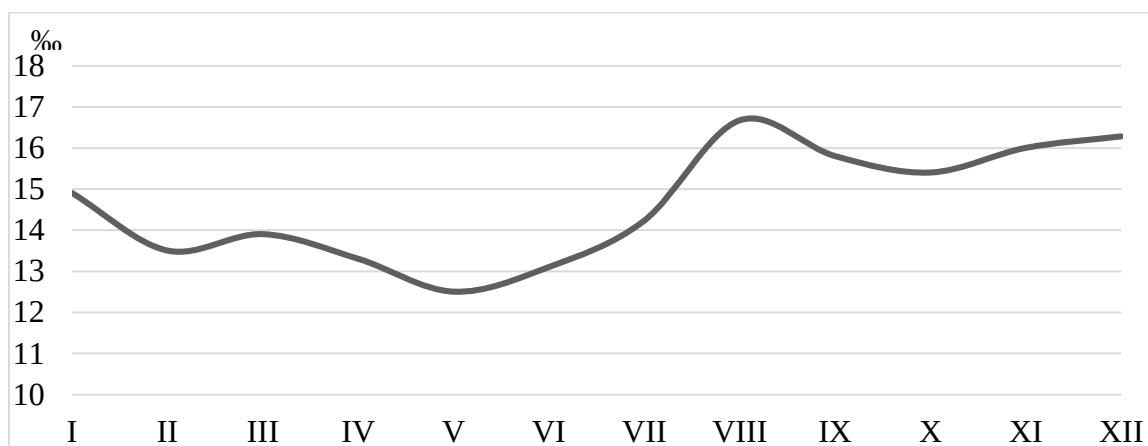


Рисунок 1. Среднемесячное распределение солёности за 1998-2022 гг.

Наибольшее среднесезонное значение солёности наблюдается в осенний период (15,7 ‰), так как значительно уменьшается количество речного и поверхностного стока, следствием чего является повышение солесодержания в прибрежных водах акватории бухты. Из многолетнего распределения солёности в акватории Сухумской бухты следует тенденция ее повышения на 2,56‰. Данное повышение находится в пределах сезонной изменчивости и не может повлиять на термохалинную структуру моря [5].

При повышении температуры воды солесодержание в морской воде должно увеличиться за счет интенсивного испарения. Положительная корреляционная связь колеблется в пределах от 0,64 до 0,99 и наблюдается в следующие месяцы: январь, февраль, июнь, август, ноябрь, декабрь [6]. Установлена линейная зависимость между количеством осадков и среднемесячными значениями солёности, коэффициент корреляции которой оказался равным $r=-0,56$. Из уравнения тренда $S=-0,001Q+16,70$ следует, что при повышении количества осадков значение солёности уменьшается [6].

Для определения тенденции солесодержания проведено сравнение среднемесячных значений за 1998-2022 гг. с предыдущим 1960-1985 гг. периодом (рисунок 2).

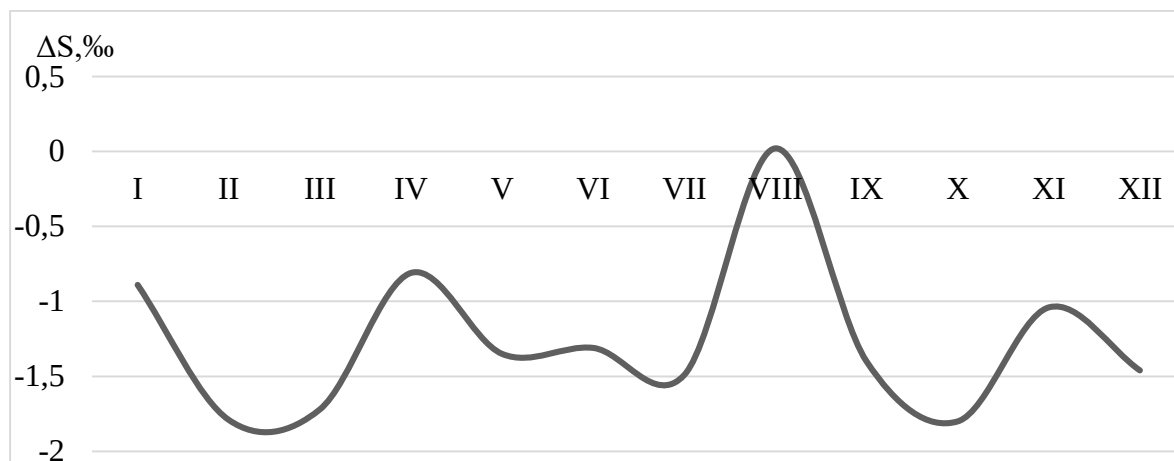


Рисунок 2 - Сравнение среднемесячных значений солёности за два периода: 1998-2022 гг. с 1960-1985 гг.

Из сравнительного анализа среднемесячного распределения солёности следует, что уменьшение значения данного параметра наблюдается в течение всего года, за исключением августа. В августе за последний период времени наблюдается тенденция повышения температуры морской воды (1,8 °С), что приводит к интенсификации процесса испарения и уменьшения количества поверхностного стока [7]. Наибольшее снижение значения солёности характерно для октября (1,8 ‰), что объясняется наибольшим количеством осадков в этот период времени [7].

Гидрохимические показатели дают более точную, количественную информацию о качестве воды в водном объекте. Знание химического состава воды (определяющего ее качество) необходимо для областей практической деятельности, как водоснабжение, орошение, рыбное хозяйство. В свою очередь гидрохимические сведения важны и для оценки коррозии строительных материалов (бетон, металлы). Изучение химического состава воды приобретает громадное значение при борьбе с загрязнением водоемов сточными водами.

Литература

1. Руководство по методам химического анализа морских вод. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. 204 с.
2. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. М: Химия, 1974. -336 с.
3. Наставление по гидрометеорологическим станциям и постам. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – Вып. 9. – ч. 1. – 312 с.
4. Дбар Р.С., Гицба Я.В., Экба Я.А. Термический режим поверхностного слоя вод и окислительные процессы в прибрежной зоне сухумской акватории Черного моря., 2018 г. Наука Юга России. 2018 Т. 14 № 4 С. 53–60.
5. Гицба Я.В., Экба Я.А. Термохалинная структура абхазской акватории Черного моря. Материалы XII Международного симпозиума «Проблемы экоинформатики» МНТОРЭС им. А.С. Попова. Москва, 2016. С.115-120.
6. Гицба Я.В., Экба Я.А. Термохалинная структура абхазской акватории Черного моря. Материалы XII Международного симпозиума «Проблемы экоинформатики» МНТОРЭС им. А.С. Попова. Москва, 2016. С.115-120.

7. Гицба Я.В., Экба Я.А. Влияние гидротермических факторов на уровень Чёрного моря в акватории Сухумской бухты. Труды VI Международной научно-практической конференции. Майкоп. - 2021. С. 60-64.

STUDY OF THE HYDROCHEMICAL COMPOSITION OF THE COASTAL WATERS OF THE SUKHUM BAY

Gitsba Y.V.

Institute of Ecology of the Academy of Sciences of Abkhazia, Sukhum

Unlike other seas and oceans in the Black Sea, the water in the relatively small upper layer contains oxygen, and the rest of the water column is almost 90% lifeless, if anaerobic bacteria are not taken into account. This sea is the only body of water on the globe in which the volume of hydrogen sulfide reaches enormous sizes. Microorganisms in water in the course of their vital activity use oxygen dissolved in water for the biochemical oxidation of organic compounds, including pollutants.

Therefore, the study of the structures of hydrochemical fields in the modern period is an important task of the chemistry of the waters of the Black Sea. Due to anthropogenic pollution of the sea area of the Sukhumi Bay by the influence of economic activity, resort facilities, the use of herbicides and fertilizers in agriculture, household waste of housing and communal services, it is necessary to conduct monitoring in coastal waters to assess its ecological condition. It is necessary, therefore, to study the distribution of dissolved oxygen, the concentration fields of hydrogen ions, characterized by the value of the hydrogen index (pH), as parameters characterizing the quality of the waters of the Sukhumi Bay.

The study of the distribution of dissolved oxygen and the hydrogen index is determined by their exceptional role in vital redox and biochemical processes occurring in the sea.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ (ГИС) НА СЛУЖБЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ: НАДЕЖНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, МОНИТОРИНГ И КОНТРОЛЬ

д.т.н., вед.н.с. Маркелов Д.А.¹, н.с. Алешко-Ожевская О.С.¹, д.т.н., проф., ген.дир. Акользин А.П.¹, к.г.н, доц. Григорьева М.А.², д.г.н., проф., вед. н.с. Минеева Н.Я.¹

¹ ООО «КАРТЭК», РФ, 119071 г. Москва, Ленинский проспект, д.29, стр.2 Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова, РФ 670000 г.Улан-Удэ, ул. Смолина, д.24 «а»

Территории России выполняет значимую биосферную функцию для мира и Евразии – очищающую и оздоровительную в результате действия силы Кориолиса –западного переноса. Эта функция выполняется БЕЗВОЗМЕЗДНО, только на основе разумного природопользования государством, которое регулирует и сохраняет устойчивое развитие биомов на территории. В настоящем исследовании обоснована и реализована концепция геоэкостандарта территории: выполнена алгоритмизация взаимосвязанности природных процессов, технические решения реализованы в модулях ГИС, которые отображают параметры геоэкологической, геодинамической, функциональной, биобарьерной структуры территории. Созданные модули предоставляют пользователю инструмент регулирования и управления природопользованием по физиономическому портрету территории – это приборы нового поколения.Созданные БД в виде проектов и технологий геоэкостандарта составляют национальный фонд нормативов биосферных функций территорий: основа контроля и регулирования природопользования – геополитики коршуна, основа для расчета природной ренты каждому жителю территории – безусловный базовый доход.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ: ПРОЕКТЫ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ

(концепция, опыт, проекты и регламент реализации)

Концепция. Геоэкологический стандарт территории как ландшафтно-зональный норматив выступает регулятором природопользования. Это положение должно стать определяющим рычагом современного неистощительного природопользования, направленного на устойчивое развитие территорий регионов. Именно пространственный портрет территории, представленный в геоэкологическом стандарте, выполняет функцию «электронного носа» или «электронного языка» в соответствии с новой парадигмой аналитического контроля окружающей среды, когда интегральные показатели можно определять любыми аналитическими методами и средствами, они могут быть безразмерными, но выстроенными на хорошо отградуированной шкале, и по разным принципам.

ГИС-технологии, разработанные авторами в виде стационарных и мобильных технологий оперативного картографирования, технологий биомониторинга на основе биотестирования и биоиндикации, технологий создания биобарьеров, позволяют реализовывать практически все операции, связанные с природопользованием, а также решать задачи обеспечения экологической

безопасности на природных и урбанизированных территориях, объектах любого хозяйственного назначения, внедренных в природные ландшафты и формирующих геотехнические системы (1-6).

Опыт. Технологии и проекты отработаны в ландшафтно-зональном спектре. Распознавание нефтяных разливов и сценарии принятия решений отработаны на примере ландшафтов Чечни. Разработан регламент «Очистка и реабилитация водоемов, почв, земель, загрязненных радиоактивными отходами уранодобывающих предприятий на территории Российской Федерации, Монголии, Казахстана, Узбекистана и других государств.

Цель: создание системы оптимального управления состоянием здоровья окружающей среды и населения на основе сохранения естественного биопотенциала экосистем. Система управления работает по принципу эколого-географического регулирования природопользования на основе использования биопотенциала экосистем, и создается аппаратно-программными средствами ГИС/GPS и природоохранными технологиями: 1) экодиагностики состояния среды, 2) сертификации качества среды и установления экологических стандартов качества земель, 3) экологической безопасности с установлением эколого-генетического риска, реабилитации здоровья населения, 4) создания биогеоценотических систем оздоровления окружающей среды, 5) создания биогеоценотических барьеров для локализации загрязнений, 6) фитомелиорации для реабилитации загрязненных территорий.

Новизна: впервые представлена система управления природопользованием, построенная на принципе сохранения биопотенциала эксплуатируемых экосистем; впервые система представляет интеграцию аппаратно-программных средств ГИС/GPS технологий, дистанционного зондирования и биомониторинга на основе биоиндикации и биотестирования; впервые система включает стандарты качества среды и нормативы эколого-географического нормирования воздействия; впервые система включает сценарии принятия решений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОДУКЦИЯ:

I Создание постоянно действующего ГИС центра – материально-техническая база, программное обеспечение, персонал.

II Создание научно-технической продукции в ГИС центре: 1) ГИС природно-ресурсного и хозяйственного потенциала геосистем, 2) ГИС реального экологического и хозяйственного состояния геосистем, 3) ГИС технологических приемов оздоровления окружающей среды, локализации загрязнений, реабилитации загрязненных и истощенных земель, реабилитации населения, 4) ГИС экологических стандартов функционирования геосистем, 5) ГИС эколого-географического нормирования функционирования геосистем, 6) ГИС экологической безопасности с оценкой эколого-генетического риска, 7) ГИС сценариев принятия решений, 8) Создание технологического регламента работы с ГИС, III Подготовка и обучение персонала. 9) Разработка обучающих программ. 10) Проведение постоянно действующих тренинг-курсов.

Конкурентоспособность созданного ГИС центра и научно-технической продукции обеспечивается высокопрофессиональными специалистами и технологиями. Организация, объединяющая специалистов и готовая выполнить заявленные работы, обладает приоритетами в заявленной области исследований, а именно: созданы научные основы и теория землепользования, разработаны технологии, опробованные в практике, авторы имеют материально-техническую базу (аппаратно-программные средства ГИС/GPS, ЛИК, аналитические лаборатории), обученный персонал, системы безопасности.

РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ

I этап. Создание ГИС центра (местоположение, материально-техническая база, персонал).

II этап. Создание географической информационной системы (ГИС) природно-ресурсного и хозяйственного потенциала на основе фундаментальной информации.

1. Создание многоцелевой, многоуровневой и многофункциональной ГИС, включающей следующие блоки: 1) географическое положение и экологический потенциал, 2) природные ресурсы: источники, запасы, использование, 3) хозяйство: функционально-отраслевая и территориальная структура, 4) промышленность: инфраструктура и состояние, 5) сельское хозяйство: инфраструктура и состояние, 6) транспорт: инфраструктура и состояние, 7) население: расселение, демография, жизнедеятельность, состояние здоровья, 8) социальная структура: территориальная привязанность, этнические и бытовые традиции, системы питания и пищевые связи, обеспеченность реабилитационными службами, 9) рекреационная обеспеченность, 10) природопользование: структура и динамика.

2. Оценка состояния геосистем на основе созданной ГИС по фондовым материалам.

3. Оптимизация регламента критериев мониторинга (перечень необходимых и достаточных контролируемых параметров).

4. Оптимизация сети мониторинга на основе созданной ГИС для целей планирования специальных съемок.

III этап. Создание ГИС реального экологического и хозяйственного состояния земель на основе специальных съемок.

5. Дистанционное зондирование аппаратно-программными средствами ГИС/GPS технологий: аэрофотосъемка, спектральная съемка, аэрогаммасъемка, газоаэрозольная съемка (пробоотборный эксперимент).

6. Наземные съемки: 6.1. Оперативное картографирование ГИС/GPS –технологиями с использованием биотестирования, биоиндикации, биомониторинга. 6.2. Определение экологического состояния земель, в том числе сельскохозяйственных угодий. Определение их биопотенциала и плодородия. Классификация земель. Создание карты земель. 6.3. Определение геохимического загрязнения земель, в том числе сельскохозяйственных угодий. Создание карты загрязнений земель тяжелыми металлами и органическими поллютантами. 6.4. Определение радиоактивного загрязнения земель, в том числе сельскохозяйственных угодий. Создание карты загрязнений земель.

IV этап. Методология имитационного моделирования и создания баз данных.

7. Системы дешифрирования и распознавания образов.

8. Алгоритмы и системы оценки сопряженности результатов дистанционного зондирования и наземного мониторинга.

9. Создание баз данных природно-хозяйственных объектов (классификация, пространственно-территориальная структура).

10. Создание баз данных состояния объектов по заданным параметрам.

11. Создание баз данных технологических приемов оздоровления территории.

12. Создание баз данных нормативов функционирования геосистем на основе эколого-географического принципа нормирования.

13. Создание баз данных регионального фона и экологических стандартов.

14. Создание баз данных экологической безопасности и эколого-генетического риска.

15. Создание баз данных природоохранных технологий оздоровления качества среды.

16. Создание баз данных природоохранных технологий оздоровления населения.

V этап. Методология оптимизационного моделирования и разработки пакетов прикладных программ сценариев и принятия решений.

17. Интерпретация результатов дистанционного зондирования и наземных съемок.

18. Оценка и расчеты дозовых нагрузок на экосистемы (доза).

19. Оценка и расчеты реакции, отклика экосистем на воздействие (эффект).

20. Установление стандартов качества среды.

21. Разработка сценариев действий в штатных и чрезвычайных ситуациях.

22. Создание сценариев и систем принятия решений. Разработка обучающих программ.

VI этап. Технологический регламент - организация рабочего режима ГИС центра.

23. Оптимизация мониторинга: объектов, параметров, периодичности, сети пунктов, аппаратно-программного обеспечения, режимов обслуживания, персонала, сбора и представления информации, прогноза состояния, системы оповещения, системы принятия решений, режимов эксплуатации пунктов и систем мониторинга.

24. Подготовка и обучение персонала. Проведение постоянно действующих тренинг-курсов.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ПРОЕКТОВ

1. Создание модуля ГИС «Комплексная эколого-экономическая оценка накопленного экологического ущерба на территории». 2. Создание модуля ГИС «Ликвидация загрязнения донного осадка химическими веществами». 3. Создание модуля ГИС «Реабилитация нарушенной территории в результате деятельности предприятий промышленности и сельского хозяйства». 4. Создание модуля ГИС «Ликвидация ущерба и реабилитация нарушенной территории от свалок отходов». 5. Создание модуля ГИС «Улучшение качества атмосферного воздуха в зонах антропогенного воздействия: городах, предприятий топливно-энергетического комплекса». 6. Создание модуля ГИС «Мониторинг радиационной обстановки в городах и поселениях». 7. Создание модуля ГИС «Строительство промышленного комплекса по обезвреживанию, использованию и размещению отходов, содержащих нефть и нефтепродукты». 8. Создание модуля ГИС «Исключение поступления недостаточно очищенных и неочищенных сточных вод в открытые водоемы, межпластовые воды, море». 9. Создание

модуля ГИС «Обеспечение экологической безопасности при добыче и транспортировке нефти и нефтепродуктов»

РЕГЛАМЕНТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ

1. Создание цифровой карты основы.
2. Разработка ГИС и БД «Геоэкологический стандарт территории» с установлением ландшафтно-геоэкологических типов территории.
3. Инвентаризация загрязненных объектов и территорий с созданием реестра.
4. Создание базы данных (БД) объектов, источников «запахового эффекта» а также объектов и территорий, подверженных накопленному экологическому ущербу, по разработанному регламенту критериев с учетом видов и объемов загрязнения от предприятий, отходов производства и потребления с установлением характера, уровня воздействия и зон влияния.
5. Создание базы данных (БД) содержания опасных веществ в воде, донных осадках, фитопланктоне, бентосе, водных животных по разработанному регламенту критериев с учетом миграции по пищевым цепочкам, видов и объемов загрязнения от отходов, их позиционирования в пространстве с выделением зон реального и потенциального загрязнения.
6. Создание базы данных методик оценки ущерба.
7. Создание базы данных методик оперативного экомониторинга, включая биомониторинг с учетом оперативности, мобильности.
8. Создание базы данных сценариев принятия решений по наиболее вероятным ситуациям в штатном и чрезвычайном режимах.
9. Создание базы данных методик моделирования распространения «запахового эффекта» с выявлением маркеров установлением зон влияния.
10. Создание базы данных мероприятий предотвращения «запахового эффекта».
11. Создание базы данных технологий очистки водных акваторий и донных осадков от загрязнений.
12. Создание базы данных технологий очистки территорий от загрязнений, их рекультивации и ремедиации.
13. Создание базы данных мероприятий очистки и рекультивации нарушенной территории.
14. Создание базы данных (БД) сценариев аварий по разработанному регламенту критериев с учетом видов и объемов разливов нефти, их позиционирования в пространстве с выделением зон реального и потенциального загрязнения.
15. Создание базы данных технологий очистки акваторий и прибрежных территорий от загрязнений нефтепродуктами, их рекультивации и ремедиации.
16. Выбор мест создания полигонов временного размещения отходов для их обезвреживания.
17. Выбор оптимальных путей транспортировки отходов (грунта, отходов, древесных остатков и др.) к месту временного размещения полигонов утилизации.
18. Выбор мест создания полигонов временного размещения отходов нефтепродуктов для их хранения, обезвреживания и утилизации.
19. Создание базы данных навигационных маршрутов транспортировки нефтепродуктов и с выбором оптимальных путей транспортировки отходов нефтепродуктов к месту временного размещения полигонов утилизации.
20. Создание модуля ГИС. Модули ГИС «Геоэкологический стандарт» отображают параметры геоэкологической, геодинамической, функциональной, биобарьерной структуры территории и представляют собой новый способ аналитического контроля окружающей среды; созданные модули, как приборы нового поколения, предоставляют пользователю инструмент регулирования и управления природопользованием по физиономичному портрету территории. Функция территории России для Евразии – очищающая и оздоровительная. Эта функция выполняется БЕЗВОЗМЕЗДНО, только на основе разумного природопользования государством, которое регулирует и сохраняет устойчивое развитие биомов на территории.

Литература

1. Маркелов Д.А., Голубчиков Ю.Н., Маркелов А.В. , Минеева Н.Я., Григорьева М.А., Полынова О.Е., Акользин А.П. Гештальтгеография как познание территории через образ / Неогеография и Метакартосемиотика: знаковый мир Приазовья. Материалы семинара. /Под редакцией Володченко А.С. и Ерёмченко Е.Н. Донецк, изд-во ДИТБ, 2013 – С.12-13.
http://neogeography.ru/conferences/signs2013/ru/NGMKS_2013_texts.pdf

- <http://www.neogeography.ru/conferences/signs2013/ru/program.html>
http://neogeography.ru/conferences/signs2013/ru/NGMKS_2013_covers.pdf
2. <https://geoecostd.com/ru/technologies/> **Технологии**/Технологии, созданные коллективом geoecostd.com:
 3. <https://geoecostd.com/ru/projects/Проекты/Проекты>, реализованные коллективом geoecostd.com:
 4. <https://geoecostd.com/ru/2011/geoekologicheskij-standart-opasnye-obekty-i-tehnicheskie-resheniya-po-ih-likvidacii/> Проект: ГИС «Геоэкологический стандарт территории. Опасные объекты и технические решения по их ликвидации»
 5. Д. А. Маркелов, А. В. Маркелов, Н. Я. Минеева, А. П. Акользин, Б. И. Кочуров, Д. А. Шаповалов, А. О. Хуторова, М. А. Григорьева, Е. А. Чукмасова. НЕФТЯНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЛАНДШАФТОВ ЧЕЧНИ: РАСПОЗНАВАНИЕ НА МЕСТНОСТИ — «ТЕХНОЛОГИИ С ОДНОГО ВЗГЛЯДА» // Экология урбанизированных территорий.-№2.- 2018.- С. 52-60//
 6. Электронная ссылка//я ссылка
<https://cyberleninka.ru/article/v/neftyanoe-zagryaznenie-landshaftov-chechni-raspoznavanie-na-mestnosti-tehnologii-s-odnogo-vzglyada>
 7. Маркелов Д.А., Минеева Н.Я., Полюнова О. Е., Григорьева М.А., Акользин А.П., Nyamdavaa
Очистка и реабилитация водоемов, почв, земель, загрязненных радиоактивными отходами уранодобывающих предприятий на территории Российской Федерации, Монголии, Казахстана, Узбекистана и других государств (Проект) // Natural condition and territorial location aspects influencing in socio-economic development: (the 2st international conference proceedings) Ulaanbaatar, 16-th September, 2015. – С. 48-52.

GEOINFORMATION SYSTEMS (GIS) IN THE SERVICE OF NATURE MANAGEMENT: RELIABILITY, EFFICIENCY, MONITORING AND CONTROL

Markelov D.A.¹, Aleshko-Ozhevskaya O.S.¹, Akolzin A.P.¹, Grigorieva M.A.², Mineeva N.Ya.¹

1 KARTEK LLC, Russian Federation, 119071 Moscow, Leninsky Prospekt, 29, building 2 Buryat State University. Dorzhi Banzarov, Russian Federation 670000 Ulan-Ude, st. Smolina, 24 "a"

The territory of Russia performs a significant biospheric function for the world and Eurasia - cleansing and healing as a result of the action of the Coriolis force - the western transfer. This function is performed FREE OF CHARGE, only on the basis of reasonable environmental management by the state, which regulates and maintains the sustainable development of biomes in the territory. In this study, the concept of geo-ecostandard of the territory is substantiated and implemented: the algorithmization of the interconnectedness of natural processes is carried out, technical solutions are implemented in GIS modules that display the parameters of the geo-ecological, geodynamic, functional, bio-barrier structure of the territory. The created modules provide the user with a tool for regulating and managing nature management according to the physiognomic portrait of the territory - these are devices of a new generation. The databases created in the form of projects and geocostandard technologies constitute the national fund of norms for the biospheric functions of territories: the basis for monitoring and regulating nature management is the geopolitics of the kite, the basis for calculating the natural rent for everyone a resident of the territory - an unconditional basic income.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕГОВОГО ПОКРОВА ТЕХНОГЕННЫМИ ОБРАЗОВАНИЯМИ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТЭЦ (НА ПРИМЕРЕ Г. КАРАГАНДА, РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН)

асп., Адильбаева Т.Е., д.г.-м.н., доц., Таловская А.В., д.г.-м.н., проф., Язиков Е.Г.
Томский политехнический университет, Томск, Россия

Представлены результаты изучения минерально-вещественного состава твердого осадка снега в окрестностях теплоэлектростанции г. Караганда. Для изучения пылевых атмосферных выпадений проводили отбор проб снега. Для изучения вещественного состава проб твердого осадка снега использовался бинокулярный стереоскопический и электронный микроскопы. В результате определено снижение уровня пылевой нагрузки в пробах по мере удаления от теплоэлектростанции, на расстоянии от 0,5 до 4,5 км. В твёрдом осадке снега были обнаружены металлосодержащие фазы Ва, Fe, смесь U-Ta-Nb, техногенные образования (угольные частицы, шлак, зола) и муллит, характеризующие влияние теплоэлектростанции.

Введение

Ухудшение качества воздуха из-за увеличения концентрации твердых частиц в окружающей среде в результате урбанизации, индустриализации и увеличения спроса на энергию является проблемой, обычно возникающей в городской атмосфере [1]. Многие исследования доказали [2]

наличие прямой связи между размерностью твердых частиц в воздухе и проблемами, касающимися здоровья населения.

Загрязнение атмосферы вблизи теплоэнергетических комплексов характеризуется большой пространственно-временной неоднородностью. Метеорологические параметры играют значительную роль в переносе, диффузии и естественном очищении атмосферы [3]. Карагандинская теплоэлектростанция в своем технологическом процессе использует высокочистый Экибастузский уголь и мазут.

Снеговой покров является одним из методов геоэкологического мониторинга природных ландшафтов. Во многих исследованиях показано, что снеговой покров играет важную роль в биогеохимическом круговороте различных загрязнителей, может выступать их источником или временным резервуаром [4]. В данной статье уделено внимание изучению минерально-вещественной составляющей техногенных образований в пылевых выбросах теплоэлектростанции осаждаемых на снеговой покров.

Методика измерений и обработки данных

Планирование точек, отбор проб и пробоподготовку проводили по методике согласно работам [5-7]. Отбор и анализ проб снегового покрова в окрестностях ТЭЦ проводились с 2014 по 2017 гг., с 2020 по 2021 гг. Пробы были отобраны в 7 направлениях от ТЭЦ (северо-восточном, северо-западном, северном, восточном, южном, юго-восточном и юго-западном) на расстоянии 0,5; 0,7; 1,6; 2,2; 3,2 и 4,5 км от труб. Фоновая территория была выбрана на расстоянии 55-80 км от г. Караганда. Всего отобрано и подготовлено 101 проба снегового покрова за период мониторинга.

Вещественный состав твердого осадка снега определяли в аккредитованных лабораториях Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» ТПУ (Томск). Минерально-вещественный состав проб осуществлялся на бинокулярном стереоскопическом микроскопе согласно запатентованной методике (патент №229737) [8]. Изучение микрочастиц в пробах выполнено на сканирующем электронном микроскопе в лаборатории «ИЛИП КОРМС» КарТУ (Караганда). Обработка данных включала расчет эколого-геохимических показателей в соответствии с работами [3-5].

Результаты и их обсуждение

Пылевая нагрузка в районе расположения ТЭЦ в период с 2014 по 2022 гг. варьирует от 26 до 1751 мг/(м²·сут.), при фоне 47 мг/(м²·сут.). За 2014-2022 гг. среднее значение пылевой нагрузки составляет 427 мг/(м²·сут.) и соответствует среднему и умеренно-опасному уровню загрязнения. Резкое уменьшение пылевой нагрузки определено с 2015. В последующие годы (2016–2021 гг.) значимых изменений пылевой нагрузки не наблюдалось. По результатам векторного отбора проб снега в северо-восточном направлении от ТЭЦ установлено, что в период с 2014 по 2022 гг. наибольший уровень пылевого загрязнения на снеговой покров находится на удалении 0,7 км (таблица). Снижение наблюдается на расстоянии 1,6-4,5 км от 1,5 до 4 раз. Мониторинг снегового покрова в окрестностях ТЭЦ за 2014-2022 гг. показал резкое изменение характера распределения величины пылевой нагрузки, это может быть связано с рядом факторов: реконструкция пылегазоулавливающего оборудования на теплоэлектростанции и изменение метеорологических параметров. Динамика усредненных значений величины пылевой нагрузки по направлению северо-восточного вектора от ТЭЦ с 2014 по 2022 гг. имеет устойчивую тенденцию снижения.

Такие же закономерности распределения пылевой нагрузки были прослежены в окрестностях теплоэлектростанции городов юга Западной Сибири (Томск, Юрга, Северск, Мыски).

Таблица

Динамика пылевого загрязнения снегового покрова в северо-восточном направлении от ТЭЦ в период с 2014 по 2022 гг., мг/(м² ·сут.).

Расстояние от труб ТЭЦ, км	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2021 г.	2022 г.
0,5-0,7	1484	1315	1318	908	447	169
1,5	315	398	418	810	369	146
2,2	218	156	205	175	205	90
3,2-4,5	266	227	218	158	201	77
среднее	571	524	535	512	305	120

По результатам детального изучения вещественного состава в пробах твердого осадка снега в окрестностях ТЭЦ были определены природные (6-13%) и техногенные (87-94%) частицы. Природные частицы включают кварц (3-6%), полевые шпаты (2-5%) и растительные остатки (1-2%). Техногенные частицы включают сажу и угольную пыль (18-20%), шлак и золу (20-22 %), Fe-содержащие сферулы (21-25%) и Al-Si-сферулы (23-25%). Процентное соотношение выявленных частиц в пробах существенно не изменяется в период мониторинга.

По данным рентгеновской дифрактометрии доля минеральных фаз составляет 73,5%, а аморфной фазы есть 26,5%. Муллит (21,9%) является преобладающей минеральной фазой, который составляет основу Al-Si-сферул. Содержание кварца (14,2%), альбита (12,1%), каолинита (12,7%) и хлорита (15,2%) имеет меньшую долю в пробах. В твердом осадке снегового покрова микроминеральные фазы муллита установлены как техногенные образования, отражающие воздействие ТЭЦ, что согласуется с литературными данными [9-10]. Отношение муллит/кварц в окрестностях ТЭЦ имеет наиболее высокий уровень - 1,5, при фоне 0,01 ед.

Детальные электронно-микроскопические исследования позволили изучить морфологию, структурные особенности и химический состав твердого осадка снега в окрестностях ТЭЦ. Мы определили, что Al-Si-сферулы и Fe-содержащие сферулы с размерами 0,2-41,7 мкм в твердом осадке снега по своей морфологии соответствуют таким же сферулам с размерами 1,5-126 мкм в золе уноса (рисунок 1). Поверхность данных сферул определена от абсолютно гладкой до пористой, они полые внутри и состоят из O, Al, Si, Fe, Ca, а также в их состав входят Na, Mg, K, P и Ti. Наличие различных по составу алюмосиликатных микросферул обусловлено различным составом продуктов переплавления при сжигании угля, из которых они сформированы.

В работе Л.Я. Кизильшейна и др. [11] было показано, что при термической обработке углей на предприятиях ТЭК образуются минеральные частицы Al-Si-сферул и Fe-содержащих сферул. В работе [12] показано, что зола уноса Экибастузского угля состоит в основном из кварца, муллита и магнетита. Следовательно, микросферулы и минеральные фазы, содержащиеся в золе уноса, могут выбрасываться в воздух и затем осаждаться в снеговом покрове в окрестностях ТЭЦ.

В твердом осадке снега в большом процентном составе определены оксиды Fe с микровключениями Ba, Ti, Zn, Cu, Al, Si (рисунок 2). Размер данных частиц от 0,2 до 41 мкм. Также, найдены сульфиды железа и цинка.

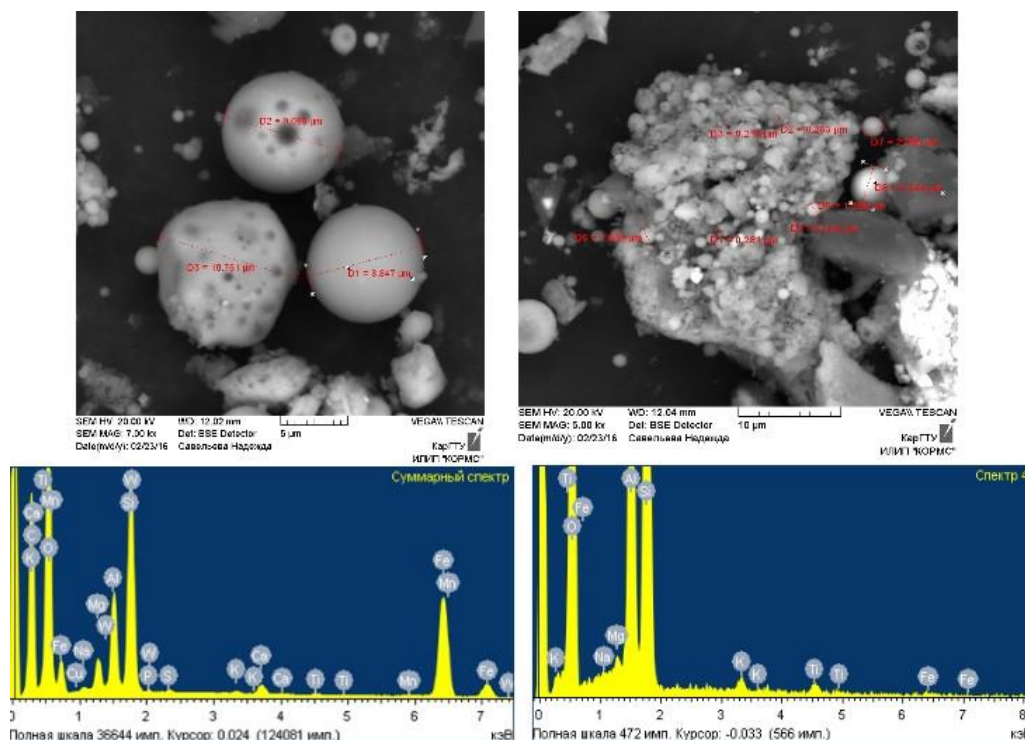


Рисунок 1. СЭМ-изображения и энергодисперсионные спектры комбинированной Al-Si-сферулы с Fe-содержащей сферулой твердого осадка снега в окрестностях ТЭЦ

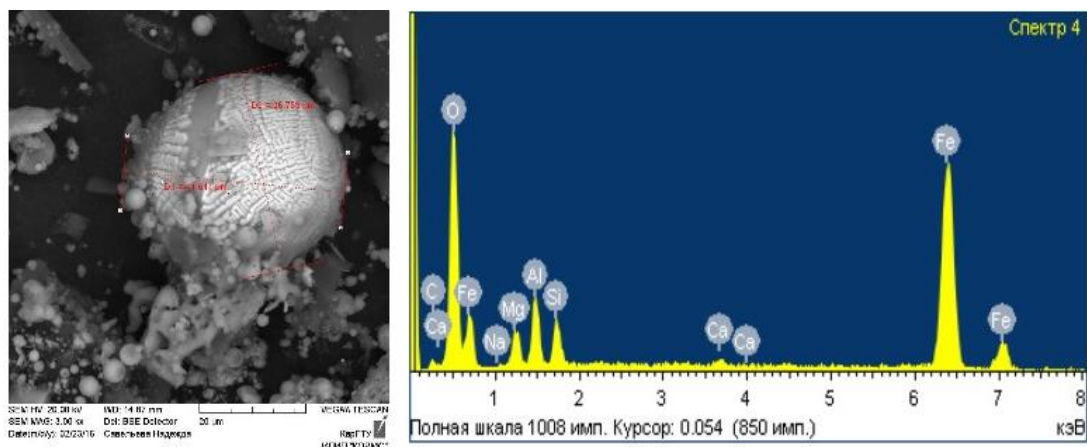


Рисунок 2. СЭМ-изображение и энергодисперсионный спектр оксида железа твердого осадка снега в окрестностях ТЭЦ

Определены U-Ta-Nb-содержащие микрочастицы с включениями Ti, Fe, Ca размер которых варьирует от 21 до 68 мкм (рисунок 3 а). Частицы размером 62–96 мкм, состоящая из S, Ba была принята за сульфат Ba (рисунок 3 б). Микрочастицы сульфатов бария нами обнаружены в золе уноса ТЭЦ, свидетельствуя об их техногенном происхождении – сжигание угля. Согласно литературным данным в составе золы уноса угольных ТЭЦ барий содержится в виде сульфатной [13] форме проявления.

Обнаружены интерметаллические микрочастицы различные по составу с комбинациями металлов Fe, Ca, Zn, Pb, Ti, W, Mn, Cr, Co размерностью 0,9–12 мкм. Интерметаллические соединения содержатся в углях различных бассейнов, халькофильные элементы, например Cu, Fe, Pb, Zn, As и Sb, являются типичными элементами-примесями в углях [14], поэтому выбросы объектов угольной теплоэнергетики являются наиболее вероятным источником данных частиц, идентифицированных нами в составе твердого осадка снега.

Закключение

По результатам исследования было установлено, что максимальные значения пылевой нагрузки приходятся на расстоянии 0,7 км. По мере удаления от теплоэлектростанции пылевая нагрузка уменьшается. Определены наиболее вероятные специфичные техногенные частицы в твердом осадке снега, представляющие особую экологическую опасность, в окрестностях теплоэлектростанции.

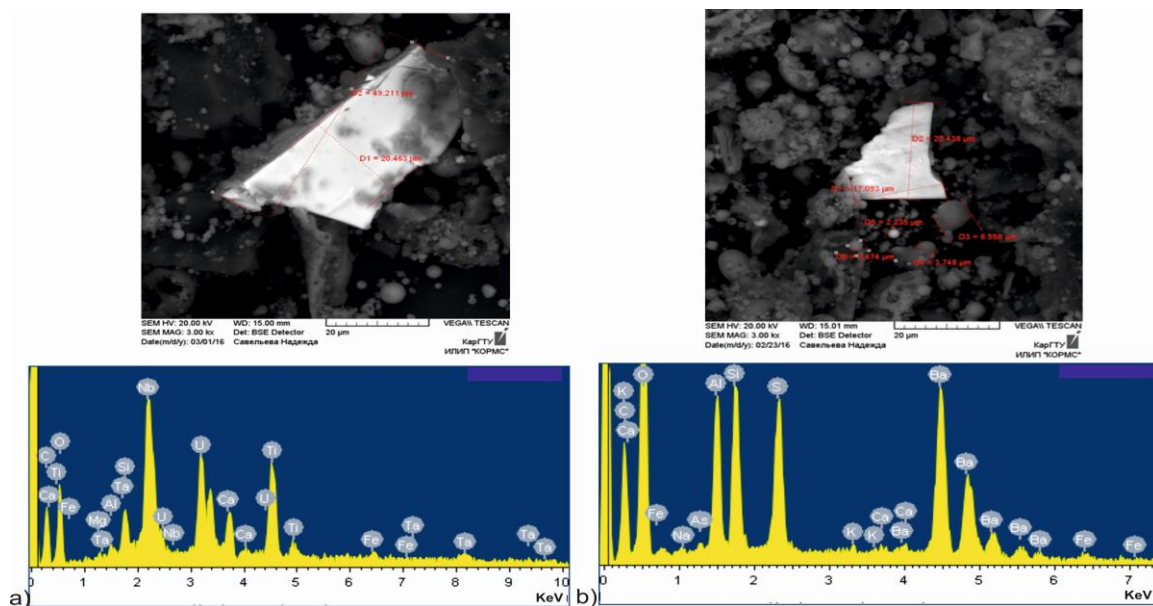


Рисунок 3. СЭМ-изображения и энергодисперсионный спектр металлосодержащих частиц в твердом осадке снега в окрестностях теплоэлектростанции: а) частицы содержащие U-Ta-Nb с примесями Ti, Fe, Ca; б) сульфат бария

Литература

1. Three-year variations in criteria atmospheric pollutants and their relationship with rainwater chemistry in karst urban region, Southwest China./ J. Zeng, X. Ge, Q. Wu, S. Zhang// Atmosphere. – 2021. – V. 12. – P. 1073. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos12081073>
2. The need for clean air: the way air pollution and climate change affect allergic rhinitis and asthma./ Eguiluz-Gracia, I., Mathioudakis, A.G., Bartel, S., Vijverberg, S.J., Fuertes, E., Comberiat, P., Hoffmann, B.// Allergy. – 2020. – V. 75 (9). – P. – 2170–2184.
3. Ambade B. Seasonal variation and sources of heavy metals in hilltop of Dongargarh, Central India. Urban Climate. – 2014. № 9. – P.155 – 165. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2014.08.001>
4. Dommergue A. Diurnal cycles of gaseous mercury within the snowpack at Kuujuaupik / Whapmagoostui, Quebec, Canada //Environ. Sci. Technol. – 2003. – Vol. 37(15). – P. 3289–3297. DOI: 10.1021/es026242b
5. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Сает, Б. А. Ревич, Е. П. Янин, Р. С. Смирнова, И. Л. Башаркевич, Т. Л. Онищенко, Л. Н. Павлова, Н. Я. Трефилова, А. И. Ачкасов, С. Ш. Саркисян. – Москва: Изд-во Недра, 1990.—335 с.
6. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186 № 2932 83. М.: Госкомгидромет, 1991. — 693 с.
7. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. – Москва: ИМГРЭ, 1982. – 111 с.
8. Пат. 2229737 Россия, МПК⁷ G 01 V 9/00. Способ определения загрязненности снегового покрова техногенными компонентами / Язиков Е.Г., Шатилов А.Ю., Таловская А.В.; заявитель и патентообладатель. Томский политехн. ун-т. – № 2002127851; заявл. 17.10.2002; опубл. 27.05.2004.
9. Федорова, Н. В. Оценка состава твердых фаз аэрозолей в природно-технических системах и перспективные направления утилизации продуктов их накопления в городах Прибайкалья: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36 / Федорова Наталья Владимировна. – Иркутск, 2008. – 18 с.
10. Рогова, В. П. Минеральный состав твердофазных частиц аэрозолей в городах Южного Прибайкалья / В. П. Рогова, В. Я. Киселев, Д. А. Чурсин, Н. В. Федорова, В. А. Скворцов // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – Т. 15. – № 5–6. – С. 555–557.
11. Кизильштейн, Л. Я. Компоненты зол и шлаков ТЭС /Л. Я. Кизильштейн, Н. В. Дубов, А. Л. Шпицглюз, С. Г. Парада – М.: Энерго-атомиздат, 1995. – 176 с.
12. Valeev D., Kunilova I., Alpatov A., Mikhailova A., Goldberg M., Kondratiev A. (2019). Complex utilisation of ekibastuz brown coal fly ash: Iron & carbon separation and aluminum extraction . Journal of Cleaner Production. Volume 218, pp. 192-201.
13. Yossifova, M. Mineralogy and environmental geochemistry of lagooned ashes resulted from combustion of Maritza East lignite, Bulgaria / M. Yossifova, S. Valceva, E. Djourova // International Journal of Coal Geology. – 2007. – V. 71. – № 2–3. – Pp. 287–302.
14. Юдович, Я. Э. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 648 с.

ASSESSMENT OF POLLUTION OF SNOW COVER BY ANTHROPOGENIC PARTICLES IN THE AREA OF THE LOCATION OF THE TTP (KARAGANDA, REPUBLIC OF KAZAKHSTAN)

Adil'bayeva T.E., Talovskaya A.V., Yazikov E.G.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

The results of studying the mineral and material composition of solid snow sediment in the vicinity of the Karaganda thermal power plant are presented. Snow sampling was carried out to study dust atmospheric precipitation. Binocular stereoscopic and electron microscopes were used to study the material composition of samples of solid snow sediment. As a result, a decrease in the level of dust load in the samples was determined as they moved away from the thermal power plant, at a distance of 0.5 to 4.5 km. Metal-containing phases Ba, Fe, U-Ta-Nb, anthropogenic particles (coal particles, slag, ash) and mullite were found in the solid snow sediment, characterizing the influence of the thermal power plant.

О ПОСЛЕДСТВИЯХ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ В МЕКСИКАНСКОМ ЗАЛИВЕ В 2010 Г. ДЛЯ ТРАНСПОРТА ТЕПЛА ТЕЧЕНИЕМ ГОЛЬФСТРИМ К СЕВЕРНЫМ МОРЯМ РОССИИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

д.ф.-м.н. Гранков А.Г., к.ф.-м.н. Новичихин Е.П., вед. спец. Шелобанова Н.К.

Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук

Проведен анализ влияния аварийных нефтяных разливов в Мексиканском заливе в апреле 2010 г. на перенос тепла течением Гольфстрим к Баренцеву и Карскому морям на основе данных мониторинга их среднемесячных значений температуры водной поверхности и общего влагосодержания атмосферы спутниковыми СВЧ-радиометрическими радиометрами. Результаты анализа указывают на эффект ослабления притока тепла к акваториям данных морей, достигающего максимума в августе-сентябре 2010 г.

Ключевые слова: спутниковая СВЧ-радиометрия, северные моря РФ, температура водной поверхности, общее влагосодержание атмосферы, влияние Гольфстрима

Введение

Задача изучения влияния течения Гольфстрима на тепловой режим Северного Ледовитого океана и связанные с ним погодные условия, условия навигации, рыбного промысла в акваториях северных морей России давно привлекала внимание исследователей. Еще более актуальной эта задача становится в наши дни в связи с признанием Северного морского пути, простирающегося от Баренцева до Берингова моря, наиболее приоритетной транспортной артерией России.

Одним из перспективных направлений ее решения является мониторинг температуры поверхности океана и общего содержания водяного пара в атмосфере (интегрального влагосодержания атмосферы) на основе регулярных СВЧ-радиометрических измерений со спутников. Данные параметры несут важную информацию о теплосодержании приповерхностного слоя океана и о потенциале скрытого (латентного) тепла в атмосфере. Как показывают результаты исследований [1-3], спутниковый мониторинг поверхности океана и атмосферы в СВЧ-диапазоне позволяют анализировать тепловые и динамические процессы в различных энергоактивных областях Мирового океана: районах зарождения и развития тропических, полярных и среднеширотных циклонов, атмосферных реках, зонах распространения теплых и холодных течений.

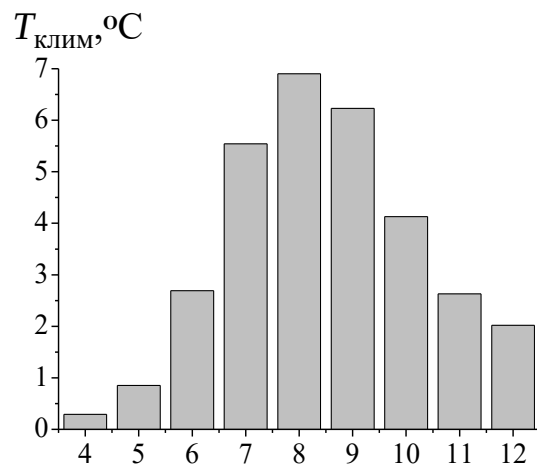
В докладе представлены результаты анализа полей среднемесячных значений температуры поверхности моря (ТПМ) и общего влагосодержания атмосферы (ОВА) в прибрежных областях Баренцева и Карского морей, совпадающих с начальной частью Северного морского пути (порт Мурманск – южная оконечность Новой Земли – Обская губа), в период аварийных разливов нефти у истоков Гольфстрима – в Мексиканском заливе в апреле 2010 г. Рассматривается вопрос: сопровождаются ли наблюдаемые в этот период критические изменения в транспорте тепла течением к берегам Европы аномалиями пространственно-временной изменчивости ТПМ и ОВА в акваториях Баренцева и Карского морей? Приводятся оценки отклонений пространственных распределений ТПМ и ОВА в 2010 г. в данных акваториях от среднееголетних, а также от соответствующих данных за другие годы.

В работе используется глобальный архив NSIDC (National Snow & Ice Data Center) результатов тематической обработки данных измерений радиометра AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer) спутника EOS Aqua (2002 – 2011 гг.) – среднемесячные значения ТПМ и ОВА в виде сеточных значений с пространственным разрешением 0.25 x 0.25°.

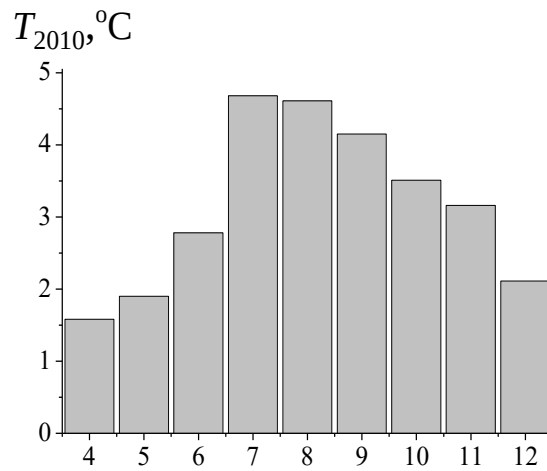
Аномалии полей ТПМ в прибрежной области Баренцева моря в 2010 г.

В конце апреля 2010 г. нормальный режим адвекции тепла течением Гольфстрим был нарушен вследствие интенсивных разливов в нефтедобывающих районах Мексиканского залива. При этом вначале произошла частичная блокада течения Гольфстрим, затем – замедление его скорости и изменение его направления в Северной Атлантике.

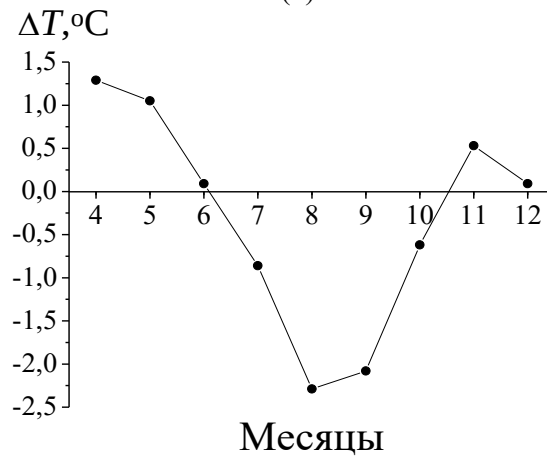
Для оценки последствий этих факторов на температурный режим Баренцева моря нами проведен расчет годового хода фоновых (осредненных в пределах области 70–75°с.ш., 35–50°в.д.) среднемесячных значений ТПМ из спутникового архива NSIDC) в период апрель – декабрь 2010 г. и проведено их сопоставление с приведенными в [4] климатическими (среднееголетними) значениями, а результаты представлены на рис. 1.



(а)



(б)



(в)

Рисунок 1. Годовой ход параметров $T_{\text{клим}}$ (а) и T_{2010} (б) и их разности ΔT (в) [5]

Иллюстрация демонстрирует существенные различия между значениями T_{2010} и $T_{\text{клим}}$, наиболее выраженные в августе – сентябре 2010 г. (через 4–5 месяцев после разливов нефти в Мексиканском заливе в апреле этого года), что может быть связано снижением адвекции тепла Гольфстримом в этот период.

Аномалии полей ТПМ и ОВА в прибрежной области Карского моря в 2010 г.

Проведено сопоставление спутниковых данных о пространственной изменчивости среднемесячных значений ТПМ в сентябре 2010 г. в области Карского моря 70–75°с.ш., 60–75°в.д. со средними за сентябрь данными за 2009 и 2011 годы (рис. 2).

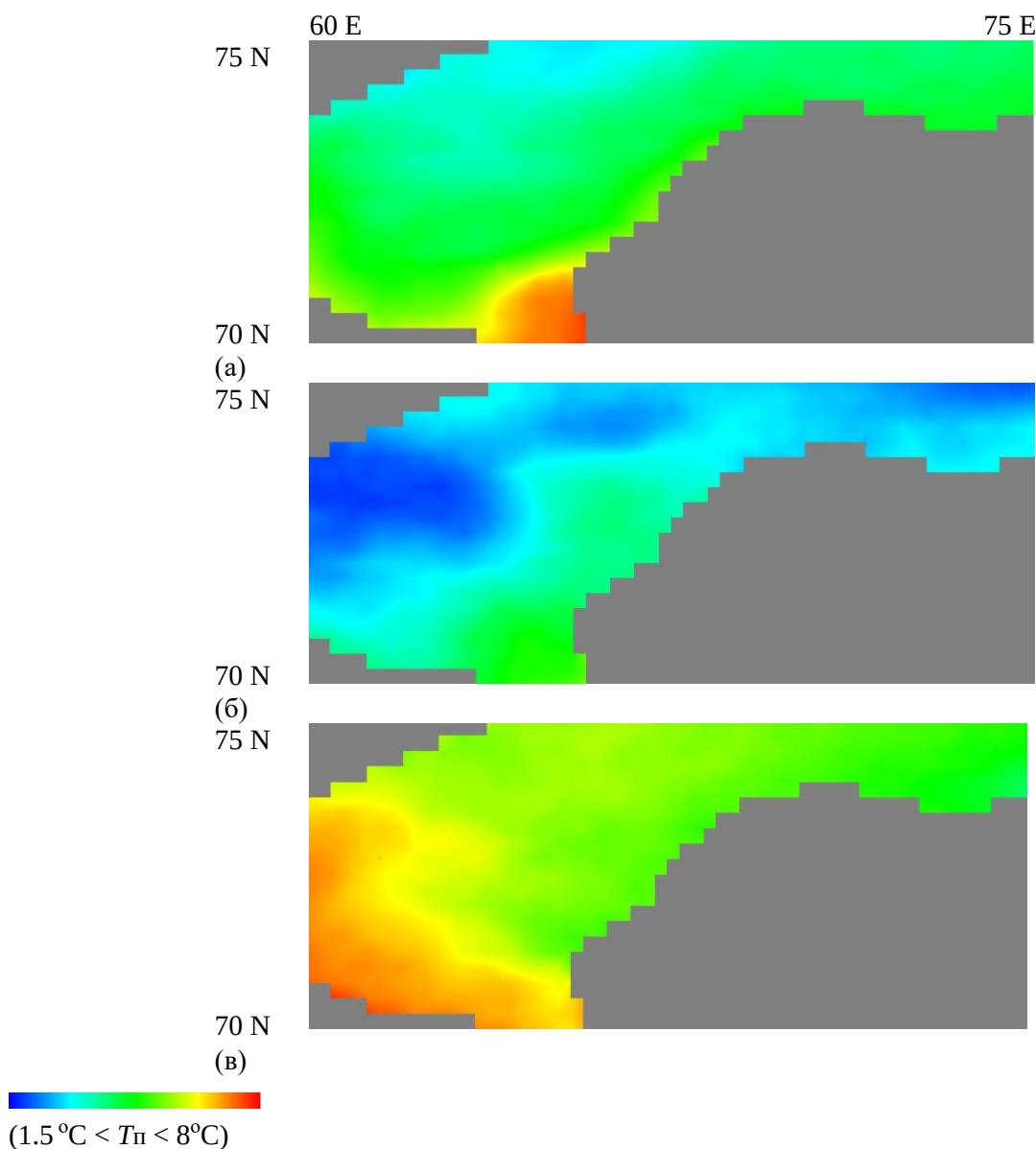


Рисунок 2. Пространственное распределение в выделенной области Карского моря средних за сентябрь значений ТПМ: (а) – 2009 г. (б) – 2010 г. (в) – 2011 г.

Численный анализ полученных результатов показывает, что осредненные в выделенной области Карского моря) средние за сентябрь значения ТПМ составляют 4.4°C (2009 г.), 3.1°C (2010 г.), 5.8°C (2011 г.), таким образом в 2010 году наблюдается минимальный приток тепла из Атлантического океана.

Об ослаблении адвекции тепла течением Гольфстрим после разливов нефти в Мексиканском заливе свидетельствуют также результаты анализа спутниковых данных о пространственной изменчивости средних за сентябрь значений ОВА в 2009–2011 гг. в рассматриваемой области Карского моря (рис. 3).

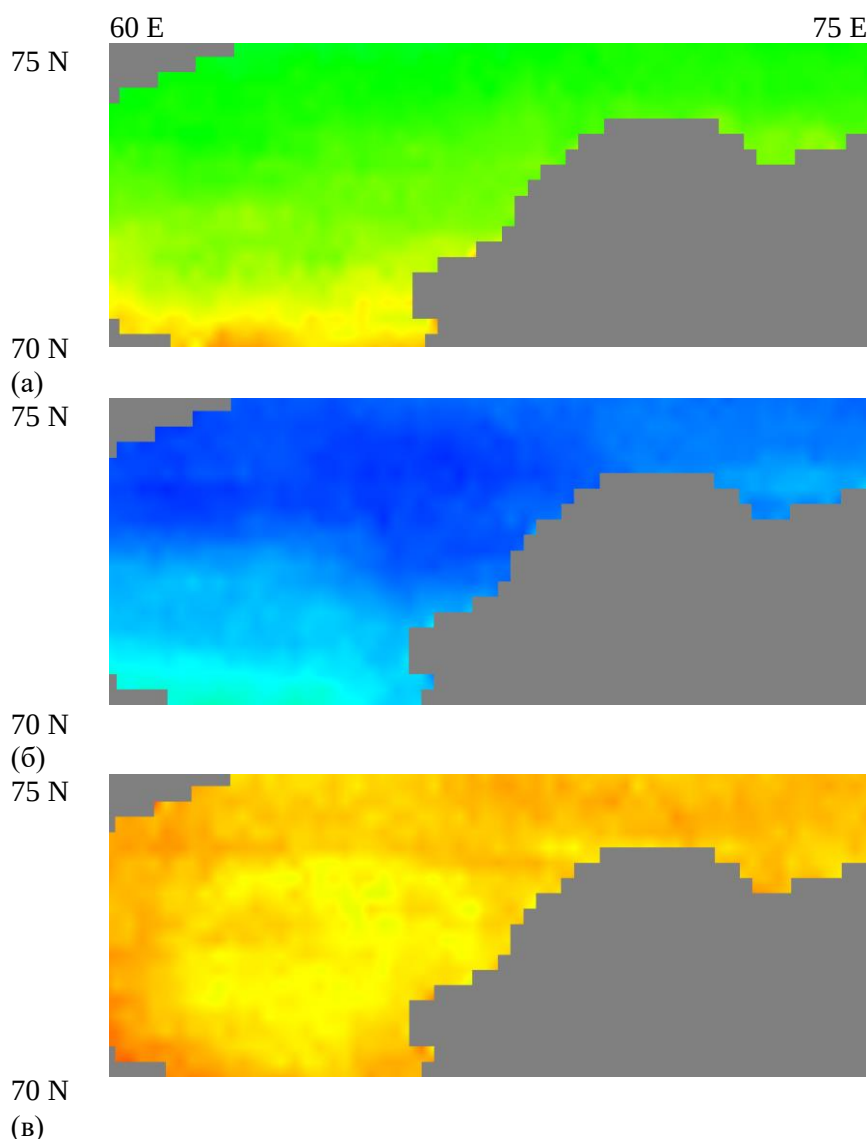


Рисунок 2. Пространственное распределение в выделенной области Карского моря средних за сентябрь значений ОВА: (а) – 2009 г. (б) – 2010 г. (в) – 2011 г.

Здесь согласно данным численного анализа среднемесячные значения ОВА составляют: 12.2 кг/м² (2009 г.), 8.9 кг/м² (2010 г.), 13.6 кг/м² (2011 г.).

Заключение

Результаты анализа спутниковых данных указывают на появление аномалий полей ТПМ и ОВА, свидетельствующих о снижении адвекции тепла Гольфстримом в этот период. В частности, отмечаются существенное снижение фоновых (осредненных в пределах выделенных областей Баренцева и Карского морей) среднемесячных значений ТПМ по сравнению с соответствующими климатическими (среднепогодными) значениями в августе – сентябре 2010 г., через 4–5 месяцев после нефтяных разливов – примерное время транспорта тепла течением Гольфстрим к Баренцеву и Карскому морям.

В качестве перспективной задачи можно рассматривать анализ влияния на тепловой режим северных морей России не только аварийных возмущений адвекции тепла Гольфстримом, но и ее естественных изменений, вызванных таянием арктических льдов, сопровождающихся изменениями термохалинной структуры течения. Такая задача представляется реалистичной благодаря

действующей сети спутниковых СВЧ-радиометрических средств, обеспечивающих определение температуры поверхности океана и общего влагосодержания атмосферы.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

Литература

1. Шарков Е.А., Шрамков Я.Н., Покровская И.В. Повышенное содержание водяного пара в атмосфере тропических широт как необходимое условие генезиса тропических циклонов // Исслед. Земли из космоса. 2012. №2. С. 73–82.
2. Ermakov D. Satellite radiothermovision of atmospheric processes: method and applications. Springer, Chaim, 2021. 199 p.
3. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Новичихин Е.П. Спутниковая СВЧ-радиометрия тепловых и динамических процессов на поверхности океана и в атмосфере. Российская Академия наук, 2022. 240 с.
4. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР (проект «Моря СССР»). Т.1. Баренцево море. Вып.1. Гидрометеорологические условия. Ф.С. Терзиев, Г.В. Гирдюк, Г.Г. Зыкова, С.Л. Дженюк (ред.). Л.: Гидрометеиздат, 1990. 281 с.
5. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Шелобанова Н.К. К оценке влияния течения Гольфстрим на тепловой режим Баренцева моря на основе данных спутниковых СВЧ-радиометрических измерений // Материалы Всероссийской открытой научной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» - Муром 2023 (Армандовские чтения). 27-29 июня 2023, Муром, С. 167-173.

ON THE CONSEQUENCES OF OIL SPILLS IN THE GULF OF MEXICO IN 2010 FOR THE TRANSPORT OF HEAT BY THE GULF STREAM TO THE NORTHERN SEAS OF RUSSIA ACCORDING TO SATELLITE MONITORING DATA

Grankov A.G., Novichikhin E.P., Shelobanova N.K.

Fryazino Branch of the Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics, RAS

The analysis of the impact of emergency oil spills in the Gulf of Mexico in April 2010 on the transfer of heat by the Gulf Stream to the Barents and Kara Seas was carried out on the basis of monitoring data of their average monthly values of water surface temperature and the total moisture content of the atmosphere by satellite microwave radiometric radiometers. The results of the analysis indicate the effect of weakening of the heat inflow to the waters of these seas, reaching a maximum in August-September 2010.

Key words: satellite microwave radiometry, northern seas of the Russian Federation, water surface temperature, total moisture content of the atmosphere, influence of the Gulf Stream

О ПРИДОННЫХ ТЕЧЕНИЯХ НА РИФТЕ В ЮЖНО-КАРСКОМ ОСАДОЧНОМ БАССЕЙНЕ

Амбросимов А.К.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

В работе представлены результаты измерения придонных течений на рифте в юго-западной части Карского моря с помощью инклинометров. Результаты наблюдений вполне адекватно отражают перенос придонной воды и осаждение взвешенного материала в районе дрефта в устье дна Восточно-Новоземельской впадины. Наклон дрефта у основания западного склона депрессии, скорее всего, обусловлен структурой придонного течения.

Ключевые слова: Восточно-Новоземельская впадина Карского моря, придонные течения, инклинометры, дрефт.

В 2022 г. в 89-1 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в рамках климатического эксперимента в Южно-Карском осадочном бассейне на глубине 123 м в 30 см от дна и на расстоянии 10 м друг от друга на дрефте в устье Восточно-Новоземельской впадины были установлены два инклинометра для изучения процесса осадконакопления. Целью эксперимента было исследование условий придонного переноса вод приводящих к асимметричному осадконакоплению, которое изменяет геометрию и амплитудные характеристики отражающих горизонтов дрефта.

В исследованиях придонного переноса водных масс особая роль принадлежит контуритовым дрефтам, которые образуются в результате аккумуляции осадочного материала, переносимого придонными течениями. Эти осадочные тела выделяются по своей приуроченности к определённым

структурным элементам дна, морфологии, строению, особенностям осадконакопления, значительно меняясь по своим размерам и мощностям в зависимости от придонной обстановки и характеристик течений [2, 4].

Исследуемый нами дрейф (рис.1б), находится в режиме заполнения дна депрессии и состоит из горизонтально-слоистых акустических отражений, где наблюдается резкая смена состава отложений. В верхней его части отражающие горизонты наклонены и перекрывают нижние с подошвенным прилеганием. Изучение процесса образования дрейфа представляет собой довольно трудную задачу, связанную с применением большого числа современной уникальной аппаратуры.

Одним из таких приборов является инклинометр, позволяющий проводить измерения течений непосредственно у дна. Инклинометр представляет собой трубку положительной плавучести, одним концом которой удерживается грузом в вертикальном положении. Принцип работы прибора основан на пересчете вертикального угла наклона прибора и угла географического положения прибора в зависимости от скорости и направления водного потока (рис.1а).

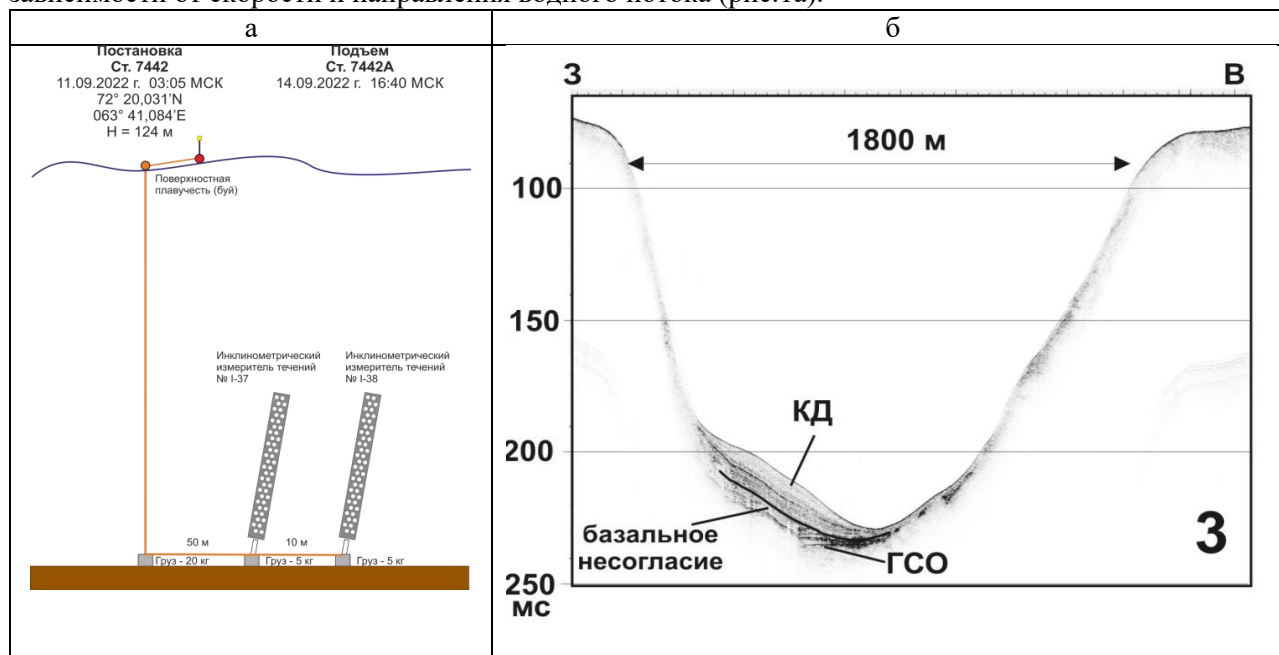


Рис. 1. а) Схема кратковременной ПБС с инклинометрами, поставленной на ст. 7442; б) наклонный рифт в устье Восточно –Новоземельской впадины.

Приборы простояли на дрейфе в течение 86 часов, дискретность наблюдений составляла 10 мин. Временная изменчивость скоростей течения и прогрессивно-векторные диаграммы переноса воды относительно точки наблюдения показаны на рис.1, 2 и 3. ++

Сравнение показаний обоих приборов между собой показало довольно хорошее совпадение результатов наблюдений. Однако, имеются и некоторые различия, которые возможно связаны с конфигурацией дна, тем более что место постановки станции представляет собой устье на дне Восточно-Новоземельской впадины.

На рис.2 и 3 показано, практически, идеальное совпадение временной изменчивости скорости течения и модулей скорости в обеих точках наблюдений, на которых просматривается воздействие 12-ти часовых приливных волн.

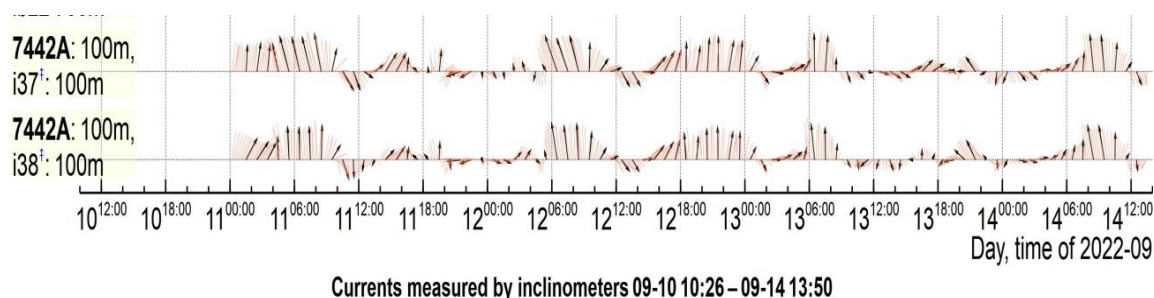


Рис. 2. Временная изменчивость скорости течения по данным инклинометров i37 и i38 за 86-часовой период наблюдений на дрейфе в 30 см от дна в Восточно–Новоземельском разломе.

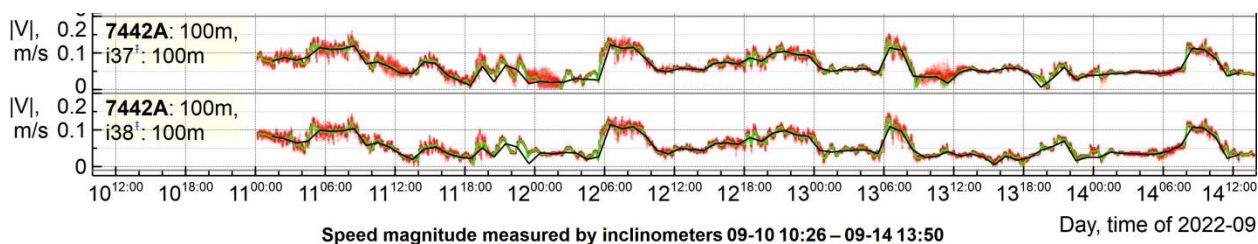


Рис.3. Изменения модуля скорости течения по данным инклинометров i37 и i38 в период 86-часовых наблюдений.

Несмотря на похожие траектории переноса воды относительно точек наблюдений (рис.4), заметны и отличительные особенности прогрессивно-векторных диаграмм переноса вод. Так у диаграмм разная длина общих и географических переносов, которые составили для инклинометров № i37 и № i38 18.8 км и 16.6 км и 10.3 км и 9.3 км, соответственно. Результирующий перенос вод в географическом направлении у i37 составил 67°, а у i38 – 45°. Такое различие может быть связано с неравномерностью течения, вызванной структурной неоднородностью строения дна (рис.4).

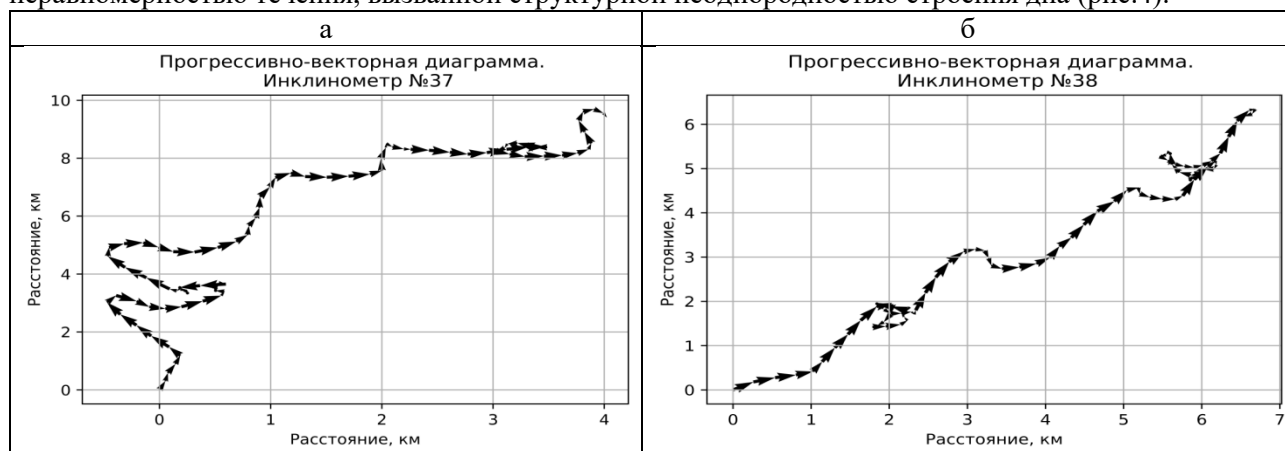


Рис. 3. Прогрессивно-векторные диаграммы течения по данным 86-часовых наблюдений инклинометрами i37 и i38.

Результаты наблюдений показали, что движение воды у дна носит колебательный характер, при средней скорости течения около 5 см/с. Колебания относительно средней скорости связаны с вертикальными приливными движениями воды. Отметим, что такие скорости движения воды, насыщенной взвешенным материалом, являются наиболее характерным условием для седиментации из нее осадочного материала [1].

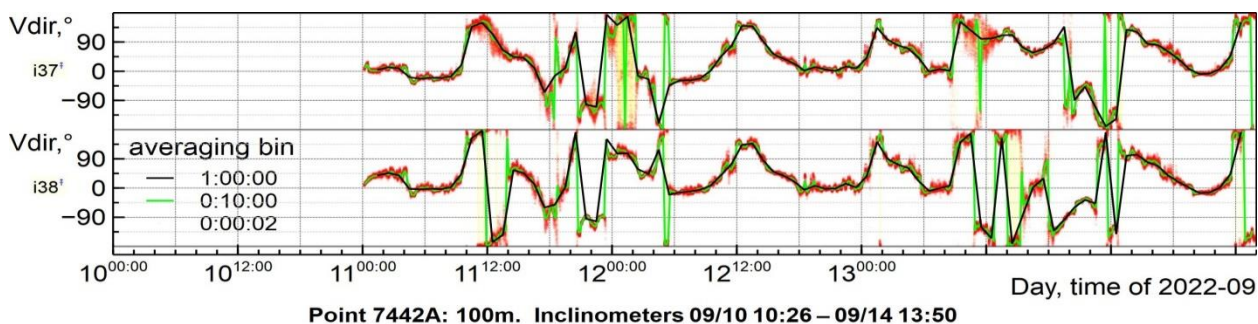


Рис. 4. Временная изменчивость направления придонного течения в течение 86-часовых наблюдений по данным инклинометров №37 и 38.

Хорошее совпадение результатов наблюдений указывает на достоверность измерений.

Обсуждение результатов наблюдений

Постановка двух инклинометров в придонной области моря поставленных в районе дрефта на расстоянии ~ 30 см от дна и в 10 м друг от друга показала, практически, одинаковые результаты наблюдений. Выполненные в рейсе измерения параметров этого течения в депрессии показали, что оно направлено на северо-восток, имеет полусуточные колебания скорости от 0 до 10 см/с и является

наложением приливных волн на постоянное течение. Небольшие колебательные значения скорости течения с переходом через ноль у дна являются оптимальными условиями для осаждения взвешенного материала из придонного нефелоидного слоя [4]. Приливные течения представляют собой один из четырёх типов течений, которые могут формировать контуритовые тела [3]. В нашем случае приливное течение, вероятно, является основным компонентом системы течений Карского моря, поскольку в силу своей природы оно возникает и сохраняет стабильность с момента появления морского бассейна.

Дрифт наклонен и нижним концом прилегает к основанию его подошвы, что свидетельствует об асимметричности придонного течения, которое его формирует.

Анализ показывает, что расхождение в направлении между результирующими показаниями обоих приборов составило 22°, что вполне может быть причиной образования наклона дрифта.

Литература

1. Амбросимов А.К. Аномальная динамика придонных течений и температуры в северо-восточном секторе Среднего Каспия // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2018. Том 54. № 4. С. 474–484.
2. Баранов Б. В., Амбросимов А. К., Мороз Е. А., Мutowкин А. Д., Сухих Е. А., Дозорова К. А. Позднечетвертичные контуритовые дрифты на шельфе Карского моря // ДАН. 2023. 2023, том 511. № 2. С. 102–108
3. Shanmugam G. Contourites: Physical oceanography, process sedimentology, and petroleum geology // Petroleum exploration and development. 2017. V. 44 (2). P. 183–216. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(17\)30023-X](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(17)30023-X)
4. Thrana A.C., Dutkiewicz A., Spence P., Müller R.D. Controls on the global distribution of contourite drifts: Insights from an eddy-resolving ocean model // Earth and Planetary Science Letters. 2018. V. 489. P. 228–240. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.02.044>

ON BOTTOM CURRENTS ON A RIFT IN THE YUZHNO-KARA SEDIMENTARY BASIN

Ambrosimov A.K.

Shirshov Institute of Oceanology

The paper presents the results of measuring bottom currents on a rift in the southwestern part of the Kara Sea using inclinometers. The results of observations quite adequately reflect the transport of bottom water and the deposition of suspended material in the drift area in the narrowness of the bottom of the East Novaya Zemlya depression. The slope of the drift at the base of the western slope of the depression is most likely due to the structure of the bottom current.

Keywords: East Novaya Zemlya depression of the Kara Sea, bottom currents, inclinometers, drift

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ВЫЯВЛЕНИЮ СКРЫТЫХ ПЕРИДИЧНОСТЕЙ

к.ф.-м.н., доцент В.В. Климов

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

Рассматривается метод оценивания спектральных параметров полигармонического процесса методом центральных конечных разностей чётного порядка для случая, когда ряд числовых наблюдений достаточно большой, а количество гармонических компонент в исследуемом процессе априори неизвестно.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

Рассматривается модифицированный метод оценивания параметров применительно к случаю, когда ряд числовых наблюдений $y_1, y_2, \dots, y_m$ достаточно большой, и соответственно допускает возможность формирования центральных конечных разностей высокого порядка (много больше, чем это необходимо для метода, описанного в [1]). Положим на начальном этапе рассмотрения, что число N синусоидальных компонент нам известно. Пусть для максимального порядка центральной конечной разности $2l$, которую можно оформить согласно алгоритму [1] на основе имеющегося ряда $y_1, y_2, \dots, y_m$ выполняется условие $2l \gg 4N$

Пусть рассматриваемый процесс можно представить в следующем виде:

$$y_s = y_{cp} + \sum_{i=1}^N r_i \sin\left(\frac{2\pi}{T_i} sg + \alpha_i\right)$$

Обозначив для краткости

$$\lambda_i = 4 \sin^2 \frac{\pi g}{T_i}; A_i^{(k)} = r_i \sin\left(\frac{2\pi}{T_i} s_k g + \alpha_i^{(k)}\right)$$

$$i = 1, 2, \dots, N; k = 1, 2, \dots, l$$

Для дальнейшего удобно ввести обозначения

$$B_t^{(k)} = \sum_{i=1}^N A_i^{(k)} \lambda_i^j = \begin{cases} y_{sj}^{(j)} - y_{cp}, & \text{при } t = 0 \\ (-1)^t \Delta^{2t} y_{sk}^{(k)}, & \text{при } t = 1, 2, \dots, N, \dots \end{cases}$$

$$k = 1, 2, \dots, l$$

Рассмотрим $l + 1$ ($l \gg 2N$) уравнений системы

$$B_k = \sum_{i=1}^N A_i \lambda_i^k; k = 0, 1, 2, \dots, l \quad (1)$$

Положим, что величины $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ - корни уравнения

$$\lambda^N + C_{N-1} \lambda^{N-1} + C_{N-2} \lambda^{N-2} + \dots + C_1 \lambda + C_0 = 0 \quad (2)$$

Возьмём в системе (1) какую-нибудь группу из $N+1$ последовательных уравнений, например группу

$$\begin{aligned} B_t &= A_1 \lambda_1^t + A_2 \lambda_2^t + \dots + A_N \lambda_N^t \\ B_{t+1} &= A_1 \lambda_1^{t+1} + A_2 \lambda_2^{t+1} + \dots + A_N \lambda_N^{t+1} \end{aligned} \quad (3)$$

$$B_{t+N} = A_1 \lambda_1^{t+N} + A_2 \lambda_2^{t+N} + \dots + A_N \lambda_N^{t+N}$$

$$C_0 B_t + C_1 B_{t+1} + \dots + C_{N-1} B_{t+N-1} + B_{t+N} =$$

$$A_1 \lambda_1^t (C_0 + C_1 \lambda_1 + \dots + C_{N-1} \lambda_1^{N-1} + \lambda_1^N) + A_2 \lambda_1^t (C_0 + C_1 \lambda_2 + \dots + C_{N-1} \lambda_2^{N-1} + \lambda_2^N) + \dots (4)$$

$$+ A_N \lambda_N^t (C_0 + C_1 \lambda_N + \dots + C_{N-1} \lambda_N^{N-1} + \lambda_N^N)$$
$$C_0 + C_1\lambda_i + \dots + C_{N-1}\lambda_i^{N-1} + \lambda_i^N = 0; i = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$
$$C_0 B_t + C_1 B_{t+1} + \dots + C_{N-1} B_{t+N-1} + B_{t+N} = 0 \quad (6)$$
$$\left. \begin{aligned} B_0 C_0 + B_1 C_1 + \dots + B_{N-1} C_{N-1} + B_N &= 0 \\ B_1 C_0 + B_2 C_1 + \dots + B_N C_{N-1} + B_{N+1} &= 0 \\ &\vdots \\ B_{l-N} C_0 + B_{l-N+1} C_1 + \dots + B_{l-1} C_{N-1} + B_l &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$
$$\left. \begin{aligned} B_0 C_0^* + B_1 C_1^* + \dots + B_{N-1} C_{N-1}^* + B_N &= \varepsilon_1 \\ B_1 C_0^* + B_2 C_1^* + \dots + B_N C_{N-1}^* + B_{N+1} &= \varepsilon_2 \\ \dots & \\ B_{l-N} C_0^* + B_{l-N+1} C_1^* + \dots + B_{l-1} C_{N-1}^* + B_l &= \varepsilon_{l-N+1} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$
$$F(C_0^*, C_1^*, \dots, C_{N-1}^*) = \sum_{i=1}^{l-N+1} \varepsilon_i^2 = \bar{\varepsilon}^T \bar{\varepsilon} \quad (9)$$
$$\frac{\partial F(C_0^*, C_1^*, \dots, C_{N-1}^*)}{\partial C_i^*} = 0; i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (10)$$
$$B_{(l-N+1,N)}^T B_{l-N+1,N} \bar{C} = -B_{(l-N+1,N)}^T \bar{H} \quad (11)$$

где

$$B_{l-N+1,N} = \begin{vmatrix} B_0 & B_1 & B_{N-1} \\ B_1 & B_2 & B_N \\ \dots & \dots & \dots \\ B_{l-N} & B_{l-N+1} & B_{l-1} \end{vmatrix}; \bar{C} = \begin{vmatrix} C_0 \\ C_1 \\ \dots \\ C_{N-1} \end{vmatrix}; \bar{H} = \begin{vmatrix} B_N \\ B_{N+1} \\ \dots \\ B_l \end{vmatrix} \quad (12)$$

Матрица $B_{(l-N+1,N)}^T B_{l-N+1,N} = K(N \times N)$ представляет собой таблицу коэффициентов при неизвестных $\bar{C}^T = (C_0, C_1, \dots, C_{N-1})$ в системе нормальных уравнений и является матрицей Грама для системы векторов [2]

$$\bar{Z}_K = \begin{vmatrix} B_K \\ B_{K+1} \\ \dots \\ B_{l-N+K} \end{vmatrix} \quad \text{т.е.} \quad (13)$$

$$K(N \times N) = B_{(l-N+1,N)}^T B_{l-N+1,N} = \begin{vmatrix} (\bar{Z}_0, \bar{Z}_0) & (\bar{Z}_0, \bar{Z}_1) & (\bar{Z}_0, \bar{Z}_{N-1}) \\ (\bar{Z}_1, \bar{Z}_0) & (\bar{Z}_1, \bar{Z}_1) & (\bar{Z}_1, \bar{Z}_{N-1}) \\ \dots & \dots & \dots \\ (\bar{Z}_{N-1}, \bar{Z}_0) & (\bar{Z}_{N-1}, \bar{Z}_1) & (\bar{Z}_{N-1}, \bar{Z}_{N-1}) \end{vmatrix} \quad (14)$$

Для нахождения неизвестных $\bar{C}^T = (C_0, C_1, \dots, C_{N-1})$ умножим обе части матричного уравнения (11) слева на $K^{-1}(N \times N)$. Получим

$$\bar{C} = -K^{-1}(N \times N) B_{(l-N+1,N)}^T H \quad (15)$$

Решение системы нормальных уравнений (15) определяет то значение $\bar{C}^*$, при которых достигается точка минимума функции $F(\bar{C})$ (9) в N -мерном пространстве. Функция $F(\bar{C})$ является неотрицательной квадратичной относительно $\bar{C}$. Поэтому минимум функции $F(\bar{C})$ всегда существует, а так как точка минимума обязательно удовлетворяет нормальной системе. То последняя является совместной, т.е.е всегда имеет решение. Однако, нормальная система может иметь и несколько решений в тех случаях, когда матрица K является особенной. Для однозначного определения вектора $\bar{C}^*$ из (15) необходимо, чтобы матрица K (матрица Грама) была неособенной, т.е. система векторов $\{\bar{Z}_K, K = 0, 1, \dots, N-1\}$ была линейно независимой. Только в этом случае существует обратная матрица K^{-1} и однозначное решение (15).

Рассмотрим, что представляет собой матрица Грама $K(N \times N)$.

Так как $K(N \times N) = B_{(l-N+1,N)}^T B_{l-N+1,N}$, то распишем матрицу $B_{l-N+1,N}$

$$B_{l-N+1,N} = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^N A_i & \sum_{i=1}^N A_i \lambda_i & \sum_{i=1}^N A_i \lambda_i^{N-1} \\ \sum_{i=1}^N A_i \lambda_i & \sum_{i=1}^N A_i \lambda_i^2 & \sum_{i=1}^N A_i \lambda_i^N \\ \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^N A_i \lambda_i^{l-N} & \sum_{i=1}^N A_i \lambda_i^{l-N+1} & \sum_{i=1}^N A_i \lambda_i^{l-1} \end{vmatrix} \quad (16)$$

где $A = \text{diag} \{A_1, A_2, \dots, A_N\}$. (17)

$$L_{(l-N+1 \times N)} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ \lambda_1 & \lambda_2 & \dots & \lambda_N \\ \lambda_1^2 & \lambda_2^2 & \dots & \lambda_N^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_1^{l-N} & \lambda_2^{l-N} & \dots & \lambda_N^{l-N} \end{vmatrix}; L_{(N \times N)} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ \lambda_1 & \lambda_2 & \dots & \lambda_N \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_1^{N-1} & \lambda_2^{N-1} & \dots & \lambda_N^{N-1} \end{vmatrix}$$

Тогда матрица $K (N \times N)$ может быть представлена в виде

$$K(N \times N) = B_{(l-N+1, N)}^T B_{l-N+1, N} = \left[L_{(l-N+1 \times N)} A L_{(N \times N)}^T \right]^T \times \left[L_{(l-N+1 \times N)} A L_{(N \times N)} \right] = \\ = L_{(N \times N)} A L_{(l-N+1 \times N)}^T L_{l-N+1 \times N} A L_{(N \times N)}^T \quad (18)$$

Определитель матрицы $K (N \times N)$, учитывая, что определитель матрицы $L (N \times N)$ – определитель Вандермонда $\det L(N \times N) = \prod_{1 \leq j < i \leq N} (\lambda_i - \lambda_j)$,

а определитель матрицы A - $\det A = A_1 A_2 \dots A_N$, можно записать в виде

$$\det K(N \times N) = A_1^2 A_1^2 \dots A_1^2 \prod_{1 \leq j < i \leq N} (\lambda_i - \lambda_j)^2 \det \begin{vmatrix} 1 & \lambda_1 & \dots & \lambda_1^{l-N} \\ 1 & \lambda_2 & \dots & \lambda_2^{l-N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \lambda_N & \dots & \lambda_N^{l-N} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ \lambda_1 & \lambda_2 & \dots & \lambda_N \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_1^{l-N} & \lambda_2^{l-N} & \dots & \lambda_N^{l-N} \end{vmatrix} \quad (19)$$

Для вычисления определителя(44), воспользуемся формулой Бине-Коши [2]

$$\det L_{(l-N+1 \times N)}^T L_{(l-N+1 \times N)} = \sum_{1 \leq m_1 < m_2 < \dots < m_N \leq l-N+1} L^2 \begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & N \\ m_1 & m_2 & \dots & m_N \end{pmatrix} \quad (20)$$

где $L^2 \begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & N \\ m_1 & m_2 & \dots & m_N \end{pmatrix}$ - минор порядка N матрицы $L_{(l-N+1 \times N)}$.

Таким образом, определитель матрицы Грама $\det K(N \times N)$ можно записать

$$\det K(N \times N) = A_1^2 A_2^2 \dots A_N^2 \prod_{1 \leq j < i \leq N} (\lambda_i - \lambda_j)^2 \det \sum_{1 \leq m_1 < m_2 < \dots < m_N \leq l-N+1} L^2 \begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & N \\ m_1 & m_2 & \dots & m_N \end{pmatrix} \quad (21)$$

В предположении $A_i \neq 0, \lambda_i \neq \lambda_j; i, j = 1, N, \det K(N \times N) \neq 0$, т.к. среди миноров порядка N матрицы $L(l-N+1 \times N)$ обязательно имеются ненулевые, таким образом, получим, что при числе гармоник N определитель матрицы Грама положителен ($\det K(N \times N) > 0$), и нормальная система уравнений (11) имеет единственное решение (15). Покажем, что последовательность определителей матрицы Грама $\{\det K(t \times t), t = 1, 2, 3, \dots\}$ позволяет определить число гармоник.. Пусть неизвестное число компонент равно N . По наблюдаемому отрезку временного ряда $y_1, y_2, \dots, y_m$ определяется последовательность центральных конечных разностей четного порядка и на их основе формируется последовательность $B_0, B_1, B_2, \dots, B_l$. Из последовательности $\{\det B_i, i = 0, 1, 2, \dots, l\}$ строятся вектора $\{\bar{Z}_K, K = 0, 1, 2, 3, \dots\}$ (13), причем размерность их $(l-p+1)$ выбирается больше предполагаемого максимально возможного числа P синусоидальных составляющих ($l-p+1 > P \max$). На основе векторов $\{\bar{Z}_K, K = 0, 1, 2, 3, \dots\}$ формируем последовательность матриц Грама $\{K(t \times t), t = 1, 2, 3, \dots\}$, где

$$\begin{aligned}
K(txt) &= \left\| \begin{pmatrix} (\bar{Z}_0, \bar{Z}_0) & (\bar{Z}_0, \bar{Z}_1) & \dots & (\bar{Z}_0, \bar{Z}_{t-1}) \\ (\bar{Z}_1, \bar{Z}_0) & (\bar{Z}_1, \bar{Z}_1) & \dots & (\bar{Z}_1, \bar{Z}_{t-1}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (\bar{Z}_{t-1}, \bar{Z}_0) & (\bar{Z}_{t-1}, \bar{Z}_1) & \dots & (\bar{Z}_{t-1}, \bar{Z}_{t-1}) \end{pmatrix} \right\| = \left\| \begin{pmatrix} B_0 & B_1 & \dots & B_{l-p} \\ B_1 & B_2 & \dots & B_{l-p+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_{t-1} & B_t & \dots & B_{l-p+t-1} \end{pmatrix} \right\|_X \\
&{}_X \left\| \begin{pmatrix} B_0 & B_1 & \dots & B_{t-1} \\ B_1 & B_2 & \dots & B_t \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_{l-p} & B_{l-p+1} & \dots & B_{l-p+t-1} \end{pmatrix} \right\| = \\
&= B_{(l-p+1, t)}^T B_{(l-p+1, t)} = L_{(txN)}^T A L_{(l-p+1xN)}^T L_{(l-p+1xN)} A L_{(txN)}^T
\end{aligned} \tag{22}$$

где

$$L_{(txN)} = \left\| \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ \lambda_1 & \lambda_2 & \dots & \lambda_N \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_1^{t-1} & \lambda_2^{t-1} & \dots & \lambda_N^{t-1} \end{pmatrix} \right\|; L_{(l-p+1xN)} = \left\| \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ \lambda_1 & \lambda_2 & \dots & \lambda_N \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_1^{l-p} & \lambda_2^{l-p} & \dots & \lambda_N^{l-p} \end{pmatrix} \right\| \tag{23}$$

Вычислим определитель $\det K(txt)$. Используя (19) и (21), можно показать, что

$$\det K(txt) = A_1^2 A_2^2 \dots A_N^2 \sum_{1 \leq m_1 < m_2 < \dots < m_N \leq l-p+1} L^2 \begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & N \\ m_1 & m_2 & \dots & m_N \end{pmatrix} \det[L(txN) L^T(txN)] \tag{24}$$

Используя формулу Бине-Коши для вычисления (24), получим

$$A_1^2 A_2^2 \dots A_N^2 \sum_{1 \leq m_1 < m_2 < \dots < m_N \leq l-p+1} L^2 \begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & N \\ m_1 & m_2 & \dots & m_N \end{pmatrix} \sum_{1 \leq l_1 < l_2 < \dots < l_t \leq N} L^2 \begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & t \\ l_1 & l_2 & \dots & l_t \end{pmatrix} \tag{25}$$

где $L \begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & t \\ l_1 & l_2 & \dots & l_t \end{pmatrix}$ - минор порядка t матрицы $L(t \times N)$.

В предположении $A_i \neq 0, \lambda_i \neq \lambda_j; i, j = 1, N, \det K(N \times N) > 0$ при $t \leq N$, т.к. среди миноров порядка t матрицы $L(txN)$ также, как и среди миноров порядка N матрицы $L(l-p+1 \times N)$ обязательно имеются нулевые, т.к. по предположению число компонент равно N . Если же $t > N$, то $\det K(t \times t) = 0$. Таким образом, определение числа N сводится к следующему. По наблюдаемому отрезку $y_1, y_2, \dots, y_m$ определяется последовательность центральных конечных разностей четного порядка, формируется последовательность $B_0, B_1, B_2, \dots, B_l$ на основе которой строят вектора $\{\bar{Z}_K, K = 0, 1, 2, 3, \dots\}$ согласно (13), причем размерность их $(l-p+1)$ предполагается больше максимального возможного числа P компонент в данном временном ряду. На основе векторов $\{\bar{Z}_K, K = 0, 1, 2, 3, \dots\}$ формируется последовательность матриц Грама $\{K(txt), t = 1, 2, 3, \dots\}$

$$K(txt) = \left\| \begin{array}{cccc} \sum_{i=0}^{l-p} B_i^2 & \sum_{i=0}^{l-p} B_i B_{i+1} & \dots & \sum_{i=0}^{l-p} B_i B_{i+t-1} \\ \sum_{i=0}^{l-p} B_{i+1} B_i & \sum_{i=0}^{l-p} B_{i+1}^2 & \dots & \sum_{i=0}^{l-p} B_{i+1} B_{i+t-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=0}^{l-p} B_{i+t-1} B_i & \sum_{i=0}^{l-p} B_{i+t-1} B_{i+1} & \dots & \sum_{i=0}^{l-p} B_{i+t-1}^2 \end{array} \right\|; t = 1, 2, \dots$$

вычисляются определители $\det K(t \times t)$. Процесс обрывают, как только $\det K(S \times S) = 0$. Последнее означает, что число гармоник равно $S-1$. Зная N , можно определить вектор $\bar{C}$ (15), корни $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{s-1}$ уравнения (5). Далее определяются периоды $T_1, T_2, \dots, T_{s-1}$. Такой подход позволяет проводить надежное и однозначное определение числа параметров тех компонент, для которых $A_i \neq 0; i = 1, N$. В силу того, что возможна ситуация, когда выполняется $A_i = 0$, следует при оценивании параметров повторять описанную процедуру для нескольких значений $y_{s1}, y_{s2}, \dots, y_{sk}$ и окончательно суждение выносить на основе анализа совместных результатов.

Литература

1. Серебренников М.Г., Первозванский А.А.. Выявление скрытых периодичностей. Наука, М., 1965.
2. Ланкастер П. Теория матриц. Наука, М., 1978.
3. Абрамов А.Д., Климов В.В., Коновалов Л.Н. Исследование спектральной структуры метеопроцессов.-В кн.: Математическое моделирование в задачах радиотехники и электроники. М, 1984, ч.2, с.152-166.

ABOUT ONE APPROACH TO REVEALING HIDDEN PERIODICITY

Klimov V.V.

Fryazino branch of the Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics RAS

An algorithm for estimating the spectral parameters of a polyharmonic process by an even-order central finite difference method is considered in the case of a large number of discrete observations and an a priori unknown number of harmonic components of the process.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА УПРАВЛЕНИЯ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ МЕТОДОМ ПОЛИНОМИАЛЬНОГО ХАОСА

к.т.н. Фам Суан Фанг

Вьетнам, Ханой, ГТУ им. Ле Куй Дона

Предварительный анализ экологической ситуации и определение наилучшего метода ликвидации последствий экологических катастроф предполагает исследование математических моделей и выработку методов оптимального управления сложившейся ситуацией. Предлагается метод синтеза оптимального управления стохастической системой методом полиномиального хаоса. Решается проблема поиска эквивалентного детерминированного оптимального управления с повышенной размерностью в пространстве состояний, используя стандартные численные методы, пригодные для задач детерминированного оптимального управления.

Ключевые слова: экологическая катастрофа, математическая модель, оптимальное управление, полиномиальный хаос.

Ликвидация экологических катастроф предполагает предварительный анализ сложившейся ситуации и исследование способов устранения последствий. При проведении анализа используются различные модели и рассматриваются разнообразные методы управления. При применении моделей с параметрической неопределенностью используются различные методы построения моделей [1] или параметрической идентификации [2]. Метод управления на основе полиномиального хаоса (ПХ) [3,4,5]

обеспечивает оптимальное управление для линейной системы, когда существует параметрическая неопределенность.

Основное внимание в работе уделено оптимальному управлению для линейных и нелинейных систем с вероятностной неопределенностью в параметрах системы. Предполагается, что функция плотности вероятности этих параметров известна. Эти параметры могут входить в динамику системы в любой форме.

Синтезировать оптимального управления в линейных стохастических системах с помощью ПХ, решение зависит от числа членов ПХ разложения. ПХ методы имеют преимущество с вычислительной точки зрения, они гораздо эффективнее, чем метод Монте-Карло.

Рассмотрим задачи синтеза оптимального управления в стохастических линейных системах [1]. Модель системы имеет вид:

$$\dot{X}(\xi, t) = A(\xi, t)X(\xi, t) + B(\xi, t)U(\xi, t) \quad (1)$$

где, $A(\xi, t)$, $B(\xi, t)$ неопределенности, зависят от случайного процесса (СП) ξ ;

$X(\xi, t)$ - вектор состояния системы; $U(\xi, t)$ - вектор управления.

Цель задачи синтеза - найти закон управления с обратной связью в виде:

$$u(\xi, t) = -Kx(\xi, t) \quad (2)$$

Минимизация целевой функции:

$$J = E \left\{ \int_0^\infty (x^T(\xi, t)Qx(\xi, t) + u^T(\xi, t)Ru(\xi, t)) dt \right\}$$

$$J = \int_\Omega \left\{ \int_0^\infty (x^T(\xi, t)Qx(\xi, t) + u^T(\xi, t)Ru(\xi, t)) dt \right\} \rho(\xi) d\xi \quad (3)$$

где $\rho(\xi)$ - Функция плотности вероятности СП ξ .

С помощью ПХ [2,3,4], процессы $x(\xi, t)$ и $u(\xi, t)$ можно переписать в виде

$$x_i(\xi, t) = \sum_{k=1}^p x_{i,k}(t) f_k(\xi), \quad u_i(\xi, t) = \sum_{k=1}^p u_{i,k}(t) f_k(\xi)$$

где $\{\phi_i(\Delta)\}_{k=1}^p$ - базисные функции, вид которых зависит от вида СП.

Закон управления в обратной связи зависит от вероятности СП и состояния системы

$$\sum_{k=1}^p u_{i,k}(t) \phi_k(\xi) = -K \sum_{k=1}^p x_{i,k}(t) \phi_k(\xi)$$

Стоимость функции сводится к минимуму управлением U

$$U = -R_u^{-1} B^T P X$$

где P - решение уравнения Риккати вида

$$A^T P + P A - P B R_u^{-1} B^T P + Q_x = 0$$

$$E(u^T R u) = U^T R_u U \quad \text{и} \quad R_u = R \otimes W$$

Вектор управления $U = [u_1^T, u_2^T, \dots, u_m^T]^T$ запишем в другом виде $u(t, \xi) = \sum_{i=1}^m u_i^T f_i(\xi)$.

Соответствующий закон управления может быть определен на основе знания ξ , т.е. ξ должно быть известно в ходе реализации.

Состояние системы $x(t, x)$ используется для закона оптимального управления, который зависит от ξ . Этот подход не требует оценки многочлена разложения состояния и не требует знания ξ . Предложена обратная связь вида:

$$u(\xi, t) = -K x(\xi, t) \quad (4)$$

Закон управления является стохастическим, из-за стохастической траектории состояния и входит в стоимость функции $E[u^T R u]$. Закон управления в виде ПХ становится

$$U(\xi, t) = -(K \otimes I_p) X(\xi, t)$$

Закон управления $U(\xi, t)$ разложения по ПХ дается

$$\sum_{i=1}^p u_i(t) \psi_j(\xi) = \sum_{i=1}^p -K u_i(t) \psi_j(\xi)$$

Когда функция стоимости сведена к минимуму, матрица K должна быть решением уравнения типа уравнение Рикатти

$$A^T P + P A + P B (K \otimes I_p) + (K^T \otimes I_p) B^T P + Q_{\bar{x}} + (K^T \otimes I_p) R_{\bar{u}} (K \otimes I_p) = 0$$

Таким образом, функция стоимости имеет вид (4а, 4б):
в непрерывном случае

$$J = \int_0^{\infty} X^T \left(Q_{\bar{x}} + (K^T \otimes I_p) R_{\bar{u}} (K \otimes I_p) \right) X dt \quad (5a)$$

в дискретном случае

$$J = \sum_{k=0}^{\infty} X_k^T \left(Q_{\bar{x}} + (K^T \otimes I_p) R_{\bar{u}} (K \otimes I_p) \right) X_k \quad (5b)$$

где n - размер вектора состояния, p - количество члена ПХ

$$x_{ext} = [x_{ij}]^T, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, p}; u_{ext} = [u_{kj}]^T, k = \overline{1, m}; j = \overline{1, p}$$

Матрица с параметрической неопределенностью $A(\xi)$ с помощью ПХ $A(\xi) = \sum_{i=1}^p A_i \psi_i(\xi)$ будет определяться расширенной матрицы A_{ext} как

$$A_{ext} = \sum_{i=1}^p \text{kron}(F_i, A_i)$$

где $\text{kron}(F^i, A^i) = \langle F^i, A^i \rangle = F^i \ddot{A} A^i$.

$$F^i = \begin{bmatrix} \delta_{i11} / \delta_{11} & \dots & \delta_{i1p} / \delta_{11} \\ \delta_{ip1} / \delta_{pp} & & \delta_{ipp} / \delta_{pp} \end{bmatrix}$$

δ_{ij} - внутреннее соотношение между функциями i -ого и j -ого базисных функций

$$\delta_{ij} = \int_{\Omega} \psi_i(\xi) \psi_j(\xi) \rho(\xi) d\xi \text{ и } \delta_{ijk} = \int_{\Omega} \psi_i(\xi) \psi_j(\xi) \psi_k(\xi) \rho(\xi) d\xi$$

В результате получаем модель системы в виде:

$$\dot{x}_{ext}(t) = A_{ext} x_{ext}(t) + B_{ext} u_{ext}(t)$$

Пример

Здесь применено приближение с помощью ПХ, чтобы решить задачу синтеза оптимального управления стохастической системой вида:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \\ x_2 &= -x_1 + \mu(\Delta)(1 - x_1^2)x_2 + u \end{aligned} \quad (6)$$

Где μ – случайная переменная с однородным распределением в интервале $\mu(\Delta) \in [0, 1]$. Для такого распределения базисных функций есть полиномы Лежандра и $D_{\Delta} \in [-1, 1]$.

Так размерность Δ в этом случае единица, p эквивалентно порядку полинома Лежандра. Для этого примера возьмем $p=4$. Представляя ПХ разложение x_1, x_2, μ подобно уравнению (5) в терминах ПХ разложения можно записать:

$$\bar{x}_{1,m} = x_{2,m}$$

$$\bar{x}_{2,m} = -x_{1,m} + \frac{1}{\langle \phi_m, \phi_m \rangle} \left(\sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^p \mu_i x_{2,j} l_{ijm} - \sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^p \sum_{k=0}^p \sum_{l=0}^p \mu_i x_{1,j} x_{1,k} x_{2,l} l_{ijklm} + \langle u, \phi_m \rangle \right) \quad (7)$$

Где $l_{ijm} = \langle \phi_i, \phi_j, \phi_m \rangle$ и $l_{ijklm} = \langle \phi_i, \phi_j, \phi_k, \phi_l, \phi_m \rangle$. Необходимо, чтобы проекция $\langle u, \phi_m \rangle = u$ при $m = 0$ и $\langle u, \phi_m \rangle = 0$ при $m = \overline{1, p}$. Следовательно, детерминированное управление содержит только уравнение для $x_{2,0}$.

Задача стохастического оптимального управления для этого примера ставится как

$$\min_{u(t)} E \left[\int_0^5 (x_1^2 + x_2^2 + u^2) dt \right], \quad (7)$$

при начальных условиях $x_1(0)=3, x_2(0)=0, E[x_1(5)]=0, E[x_2(5)]=0$

Задача оптимального управления была решена методом ПХ. На рисунке 1 показаны графики оптимального решения в подпространстве.

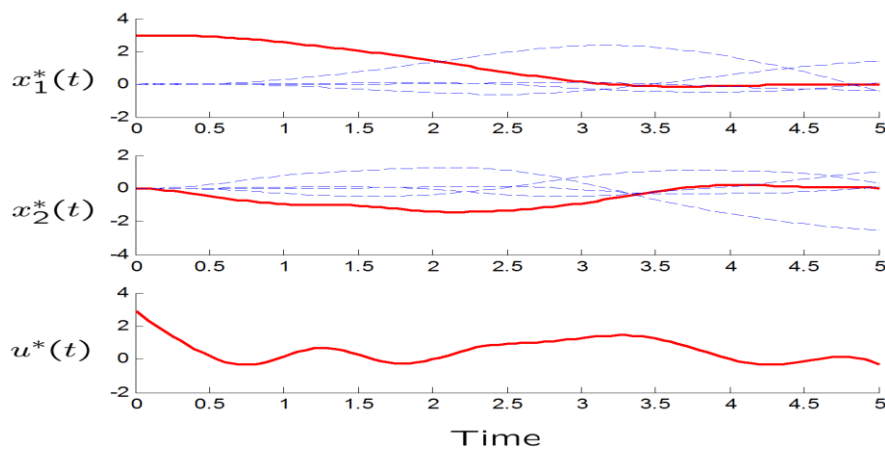


Рисунок 1 – Оптимальные траектории системы методом ПХ

Сплошные (красные) траектории состояния это средние траектории $x_1(t)$ и $x_2(t)$ и они удовлетворительно близки с определенными в уравнении (6). Пунктирные (голубые) траектории состояния получены ПХ разложением $x_1(t), x_2(t)$.

Заключение

Предлагаемый метод решения задачи оптимального стохастического управления с использованием ПХ. Разложение ПХ позволяет анализировать линейные и нелинейные стохастические дифференциальные уравнения как детерминированные. Для задач оптимального управления с обратной связью законы управления определяются при нескольких разных выбранных стратегиях обратной связи. Другие основные результаты представленного метода включают в себя возможность решить задачи оптимального стохастического управления в виде детерминированной задачи. Это позволяет использовать хорошо известные методы для решения этой проблемы. Таким образом, представлен один из подходов, применяемых для анализа экологической ситуации и предварительной выработки способа ликвидации последствий экологических бедствий.

Литература

1. Proletarsky A.V. Neusipin K.A. Reserch scalar filtering algorithm with selforganization method for modeling control system. Science and Military.2010. Т. 5. № 2. С. 80 – 82.
2. Ху Ц. и др. Разработка компактных алгоритмов параметрической идентификации для беспилотных летательных аппаратов // Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73. № 10. С. 473–479.
3. Beckmann P., Ortogonal Polinomials for Engineers and Phisicists. Golem Press. 1973.

4. Datta K.B. and Bosukonda, Orthogonal Functions in Systems and Control. River Edge, NJ:World Scientific, 1995.
5. Polyak B.T. and Tempo R., Probabilistic robust design with linear quadratic regulators, Systems and Control letters. V.43, pp.343-353, 2001.

INVESTIGATION OF THE PROBLEM OF SYNTHESIS OF THE CONTROL OF A STOCHASTIC SYSTEM BY THE METHOD OF POLYNOMIAL CHAOS

Ph.D. Pham Xuan Fang
Vietnam, Hanoi, GTU. Le Quy Dona

Preliminary analysis of the environmental situation and determination of the best method for eliminating the consequences of environmental disasters involves the study of mathematical models and the development of methods for optimal management of the current situation. A method for synthesizing the optimal control of a stochastic system by the method of polynomial chaos is proposed. The problem of finding an equivalent deterministic optimal control with increased dimension in the state space is solved using standard numerical methods suitable for problems of deterministic optimal control.

Keywords: ecological catastrophe, mathematical model, optimal control, polynomial chaos.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ERP-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ГИБРИДНОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИИ

к.т.н., доцент Бухаров М.Н.

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им.В.А.Котельникова РАН

Информационные системы в области экологии строятся нами как системы гибридного интеллекта. Рассмотрены основные положения теории систем гибридного интеллекта, архитектура ERP-платформы и инструменты для разработки приложений на ее основе. Автоматизированные рабочие места, процессы и функциональные модули системы гибридного интеллекта создаются средствами ERP-платформы. Автоматизированные рабочие места реализуются как конфигурации на ERP-платформе. Процессы разрабатываются с использованием инструментария ERP-платформы для создания бизнес процессов и задач. Функциональные модули разрабатываются на встроенном в ERP-платформу языке программирования. Рассмотренный подход к разработке экологических информационных систем как систем гибридного интеллекта, построенных на основе ERP-платформы, применяется при обучении студентов технических университетов.

Ключевые слова: экологическая информационная система, экология, гибридный интеллект, система гибридного интеллекта, функциональная подсистема, ERP-платформа.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

Введение

Информационные системы в области экологии (экологические информационные системы) мы строим как системы гибридного интеллекта [1-4]. В статье рассмотрены основные положения теории систем гибридного интеллекта и исследована реализация систем гибридного интеллекта на основе ERP-платформы «1С:Предприятие 8.3» (URL: <http://www.1c.ru>).

Основные положения теории систем гибридного интеллекта

Система гибридного интеллекта (СГИ) – это информационная система с уникальной архитектурой. Для описания архитектуры СГИ воспользуемся понятием «функционально-структурная схема информационной системы», введенным автором в 1987 г. в кандидатской диссертации (см: Бухаров М.Н. Технология программирования для систем автоматизации экспедиционных радиофизических экспериментов: дис. канд. техн. наук. М. 1987. – 237 с. URL: <http://www.rsl.ru/ru>). Функционально-структурная схема информационной системы – это перечень подсистем и модулей, из которых состоит система, с описанием выполняемых ими функций и взаимодействия между ними в основных режимах работы системы. В докторской диссертации (см.: Бухаров М.Н. Управление человеко-машинными комплексами на основе гибридного интеллекта: дис. д-ра техн. наук. М. 2012. – 356 с. URL: <http://www.rsl.ru/ru>) автор использует это понятие для определения архитектуры систем гибридного интеллекта на основе процессов.

СГИ на основе процессов создается как иерархическая многоуровневая система. В качестве основы на первом уровне используются библиотеки готовых программ, реализующие исполнительную среду для работы системы. На втором уровне система управления человеком-машинным комплексом представляется состояниями процессов, аккумулирующими логику работы комплекса, на третьем – совокупностью взаимодействующих процессов, а на четвертом – функциональными подсистемами, реализующими стратегию и тактику управления человеком-машинным комплексом. Основным режим работы СГИ – это управление деятельностью. В этом режиме: функциональные подсистемы (сотрудники и их автоматизированные рабочие места (АРМ)) передают информацию о состоянии деятельности в процессы; процессы в зависимости от поступившей информации выдают те или иные команды в АРМы; АРМы при необходимости транслируют эти команды сотрудникам; сотрудники выполняют команды и передают ответы через АРМы в процессы; процессы в зависимости от ответов, поступивших от АРМов, выдают в АРМы новые команды и т.д.

Структура системы гибридного интеллекта S имеет четыре уровня:

$$S = \langle S_1, S_2, S_3, S_4 \rangle, \quad (1)$$

где: S_1 – библиотеки готовых программ, реализующие исполнительную среду для работы системы; S_2 – состояния процессов, аккумулирующих логику работы системы; S_3 – совокупность взаимодействующих процессов; S_4 – функциональные подсистемы, реализующие стратегию и тактику управления.

Обозначим библиотеки готовых программ, реализующие исполнительную среду для работы системы гибридного интеллекта, $S_1 = \{d_{i_d}\}$, где: d_{i_d} – i_d -я библиотека готовых программ; состояния процессов, аккумулирующих логику работы системы гибридного интеллекта, $S_2 = \{\tau_{i_s, j_p}\}$, где: τ_{i_s, j_p} – состояние i_s процесса j_p ; совокупность взаимодействующих процессов, $S_3 = \{p_{n, m}\}$, где: $p_{n, m}$ – процесс m функциональной подсистемы n ; функциональные подсистемы, $S_4 = \{s_{i_s}\}$, где: s_{i_s} – функциональная подсистема i_s .

Функциональная подсистема в общем случае имеет сложную иерархическую структуру. На k -м уровне i -я функциональная подсистема s_i^k включает подсистему управления, состоящую из нескольких процессов $\{p_{i, j_p}^k\}$, несколько функциональных подсистем $\{s_{i, j_s}^k\}$, несколько функциональных модулей $\{f_{i, j_f}^k\}$ и множество сообщений $\{m_{i, j_m}^k\}$:

$$s_i^k = \langle \{p_{i, j_p}^k\}, \{s_{i, j_s}^k\}, \{m_{i, j_m}^k\} \rangle, \quad (2)$$

где: p_{i, j_p}^k – j_p -ый процесс; s_{i, j_s}^k – j_s -я функциональная подсистема; f_{i, j_f}^k – j_f -ый функциональный модуль; m_{i, j_m}^k – j_m -е сообщение; здесь индекс i указывает на i -ю подсистему рассматриваемого k -го уровня.

Функциональная подсистема может быть автоматизированным рабочим местом участника деятельности. В этом случае сам участник деятельности (сотрудник или контрагент) также является частью функциональной подсистемы (одним из ее функциональных модулей).

Подсистема управления реализует протокол взаимодействия функциональных подсистем одного уровня с помощью множества процессов. Процессы обмениваются сообщениями с функциональными подсистемами через внутренний интерфейс. В то же время подсистема управления получает задания от внешней функциональной подсистемы и отправляет ей ответы через внешний интерфейс. Регламенты этого вертикального взаимодействия функциональных подсистем реализуются процессами подсистем управления смежных по вертикали уровней.

Таким образом, более детально, на уровне k каждая i -я функциональная подсистема s_i^k представляется как кортеж из подсистемы управления (множество процессов $\{p_{i, j_p}^k\}$), нескольких функциональных подсистем следующего нижнего уровня $\{s_{i, j_s}^k\}$, внутреннего $\{m_{i, j_{m_1}}^k\}$ и внешнего $\{m_{i, j_{m_2}}^k\}$ интерфейсов, множества функциональных модулей $\{f_{i, j_f}^k\}$:

$$s_i^k = \langle \{p_{i, j_p}^k\}, \{s_{i, j_s}^k\}, \{m_{i, j_{m_1}}^k\}, \{m_{i, j_{m_2}}^k\}, \{f_{i, j_f}^k\} \rangle \quad (3)$$

Внутренний интерфейс $\{m_{i,j_m}^k\}$ подсистемы s_i^k является в тоже время внешним интерфейсом для функциональных подсистем следующего нижнего уровня $\{s_{i,j_s}^k\}$ и т.д.

Для облегчения создания систем гибридного интеллекта нами разработан специальный инструментальный комплекс и его компоненты [5-7].

Реализация СГИ на основе ERP-платформы

В основе архитектуры программы 1С:Предприятие 8.3 (ERP-платформа) лежит деление на платформу и прикладное решение. Платформа является средой разработки высокого уровня. Разработка ведется на специальном встроенном в платформу языке программирования. В платформу также встроены различные редакторы: редактор диалогов, редактор HTML-документов, редакторы таблиц и др. Платформа по отношению к разрабатываемым прикладным решениям является: основой для построения прикладных решений; средой исполнения; поставщиком инструментов для разработчиков и администраторов. Один из инструментов платформы – это механизм бизнес-процессов. Он позволяет в прикладных решениях описывать и создавать бизнес-процессы и управлять их выполнением. Бизнес-процессы используются для автоматизации выполнения цепочек связанных операций, направленных на достижение общей цели, обычно в контексте организационной структуры предприятия, определяющей функциональные роли и связи. Разрабатываемые прикладные решения являются отдельными программными продуктами, опирающимися на технологии платформы.

Конфигурация – это конкретное прикладное решение, создаваемое на базе ERP-платформы. Имеются типовые конфигурации, которые можно адаптировать к конкретным условиям организаций. Также на базе ERP-платформы можно создавать собственные новые конфигурации.

Автоматизированные рабочие места, процессы и функциональные модули СГИ создаются средствами ERP-платформы. Автоматизированные рабочие места реализуются как конфигурации на ERP-платформе. Процессы СГИ разрабатываются с использованием инструментария ERP-платформы для создания бизнес процессов и задач. Функциональные модули СГИ создаются на встроенном языке программирования ERP-платформы как программные модули, расположенные в определенном месте конфигураций.

Заключение

В работе рассмотрены основные положения теории систем гибридного интеллекта [1-2], выделены основные возможности ERP-платформы для реализации экологической информационной системы как СГИ. Рассмотренный подход к разработке экологических информационных систем как систем гибридного интеллекта, построенных на основе ERP-платформы, применяется автором при обучении студентов технических университетов [8].

Информацию о теории систем гибридного интеллекта и ее применении для создания экологических информационных систем можно найти на сайтах:

ассоциации независимых консультантов в области наукоемких технологий «Интеллект Инвест Центр» – <http://www.iicenter.ru> ; научно-исследовательской группы «Оберон» – <http://www.oberon.iicenter.ru> ; портала дистанционного обучения «Независимый центр знаний» – <http://www.kbfccenter.iicenter.ru> .

Литература

1. Бухаров М.Н. Системы гибридного интеллекта. – М: Издательство «Научтехлитиздат», 2005. – 352 с. (ил). ISBN 5-279-00891-7.
2. Бухаров М.Н. Теория систем гибридного интеллекта. Проектирование, стандартизация, моделирование и оптимизация: монография. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 214 с. (ил). ISBN 5-8135-0439-7.
3. Бухаров М.Н. Итерационная технология для разработки экологических компьютерных программ. – Экологические системы и приборы. 2003, № 1. – С. 25-29.
4. Бухаров М.Н. Проектирование и анализ эффективной деятельности с использованием методов искусственного интеллекта и цифровой имитации. – Экологические системы и приборы, 2009, № 1. – С. 14-21.
5. Бухаров, М.Н. Технология создания систем гибридного интеллекта на основе программного комплекса «Оберон-3000». – Экологические системы и приборы, 2005, № 3. – С. 31-37.
6. Интернет-ресурс <http://www.ros.iicenter.ru> .

7. Интернет-ресурс <http://www.wkl.iicenter.ru> .
8. Бухаров М.Н. Разработка систем гибридного интеллекта на платформе «1С:Предприятие 8.3» при обучении студентов технических университетов. – Сборник научных трудов 23-й международной научно-практической конференции "Новые информационные технологии в образовании", 2023, 1 (1). – С. 39-40. ISSN 978-5-9677-3278-2.

RESEARCH ON THE APPLICATION OF THE ERP-PLATFORM FOR THE CREATION OF HYBRID INTELLIGENCE SYSTEMS IN THE FIELD OF ECOLOGY

Bukharov M.N.

Fryazino Branch of the Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics RAS

We build information systems in the field of ecology as hybrid intelligence systems. The main provisions of the theory of hybrid intelligence systems, ERP-platform architecture and tools for developing applications based on it are considered. Automated workstations, processes and functional modules of hybrid intelligence system are created by means of ERP-platform. Automated workstations are implemented as configurations on the ERP platform. Processes are developed using ERP platform tools to create business processes and tasks. Functional modules are developed using the programming language built into the ERP platform. The considered approach to development of environmental information systems as hybrid intelligence systems built on ERP platform is applied in training of students of technical universities.

Keywords: ecology, environmental information system, hybrid intelligence, hybrid intelligence system, functional subsystem, ERP platform.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ ДИНАМИЧЕСКОГО СИСТЕМНОГО СИНТЕЗА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

к.т.н., доц. М.С. Селезнев

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Мониторинг зон экологических катастроф осуществляется посредством беспилотных летательных аппаратов. Получение достоверной информации о состоянии беспилотного летательного аппарата является актуальной задачей при определении источников и локализации исследуемых зон загрязнения. Предложено для повышения точности алгоритмического обеспечения беспилотного летательного аппарата использовать концепцию динамического системного синтеза моделей. В полете в алгоритмическом обеспечении навигационного комплекса летательного аппарата используются самоорганизующиеся модели, построенные в полете. Для улучшения качественных характеристик моделей использованы критерии степени наблюдаемости и управляемости переменных состояния. Эффективность применения концепции динамического системного синтеза моделей продемонстрирована посредством математического моделирования.

Ключевые слова: экологический мониторинг, беспилотный летательный аппарат, динамический системный синтез, модели, самоорганизация, критерии селекции.

Сбор информации о состоянии объектов в зонах катастроф в труднодоступной местности осуществляется с помощью беспилотных летательных аппаратов (БЛА). При возникновении экологических катастроф проводится мониторинг местности с использованием БЛА. Для точного обнаружения координат опасных участков местности необходимо иметь достоверную информацию о навигационных параметрах БЛА, на котором установлена специальная измерительная аппаратура. Определение навигационных параметров БЛА проводится с помощью навигационного комплекса (НК), состоящего из инерциальной навигационной системы (ИНС) и приемника ГЛОНАСС. Сигналы ИНС и ГЛОНАСС подвергаются совместной обработке. Алгоритмическое обеспечение НК БЛА включает различные алгоритмы оценивания, управления и др. [1]. В алгоритмическом обеспечении используются математические модели исследуемых процессов, отличающиеся по точности и размерности. В условиях длительных полетов в труднодоступной местности, где затруднен прием сигналов от

наземных навигационных станций, к адекватности моделей предъявляются жесткие требования, так как от этого в большой степени зависит точность навигационных определений БЛА [1]. Поэтому целесообразно строить модели в процессе полета и обеспечивать им улучшенные характеристики []. Для решения этой актуальной задачи применяется подход системного синтеза [2,3], а в процессе полета использована концепция динамического системного синтеза [4].

При построении моделей используется метод группового учета аргументов (МГУА) [5], в частности алгоритм с резервированием трендов. При совершении маневра БЛА для коррекции НК [6,7,8] применяется линейный тренд, который, при получении большого количества измерений, дополняется нелинейной составляющей [9,10].

В качестве линейного тренда на начальном этапе построения модели используется модель вида:

$$x_k = \Phi x_{k-1} + W_k$$

$$x_k = \begin{bmatrix} \delta V_k \\ \varphi_k \\ \varepsilon_k \end{bmatrix}, \Phi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, W_k = \begin{bmatrix} \delta V_k \\ \varphi_k \\ \varepsilon_k \end{bmatrix}, \Phi = \begin{bmatrix} 1 & -gT & 0 \\ T & 1 & T \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где δV_k - ошибки ИНС в определении скорости, φ_k - углы отклонения гиросплатформы (ГСП) от сопровождающего трехгранника, ε_k - скорость дрейфа ГСП, T - период дискретизации; W - дискретный аналог белого гауссова шума; β - средняя частота случайного изменения дрейфа гироскопа; R - радиус Земли; g - ускорение свободного падения.

При функционировании МГУА возможно построение полной модели горизонтального канала погрешностей ИНС [1], редуцированной модели с меньшей размерностью вектора состояния или скалярную модель переменной состояния.

Таким образом, полученная редуцированная модель может иметь следующий вид:

$$x_k = \Phi x_{k-1} + W_k$$

$$x_k = \begin{bmatrix} \delta V_k \\ \varphi_k \end{bmatrix}, \Phi = \begin{bmatrix} 1 & -gT \\ T & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Третья компонента вектора состояния – скорость дрейфа ГСП не включена в русло. Отсутствие информации о скорости дрейфа ГСП при формировании модели не приводит к снижению точности вычисления переменных состояния русла, так как точность определения скорости дрейфа ГСП является недостаточно высокой, что привело к исключению из русла. Использование этой переменной состояния при вычислении приведет к снижению точности. Возможную точность вычисления каждой компоненты вектора состояния модели определяем с помощью численных критериев степени наблюдаемости и степени управляемости переменных состояния моделей [11].

Придание моделям улучшенных характеристик осуществляется путем включения в ансамбль селекции качественных критериев. Например, как показано на рис.1, критериев степени наблюдаемости и управляемости переменных состояния [11]. Численный критерий степени управляемости имеет вид:

$$\gamma = \frac{h_i}{h_{\max}} \quad (2.20)$$

где h_i - модуль суммы элементов, которые находятся в i -й строке канонической матрицы управляемости, $h_{\max}$ - максимальное значение h_i .

λ - критерий степени наблюдаемости переменных состояния модели [1,11].

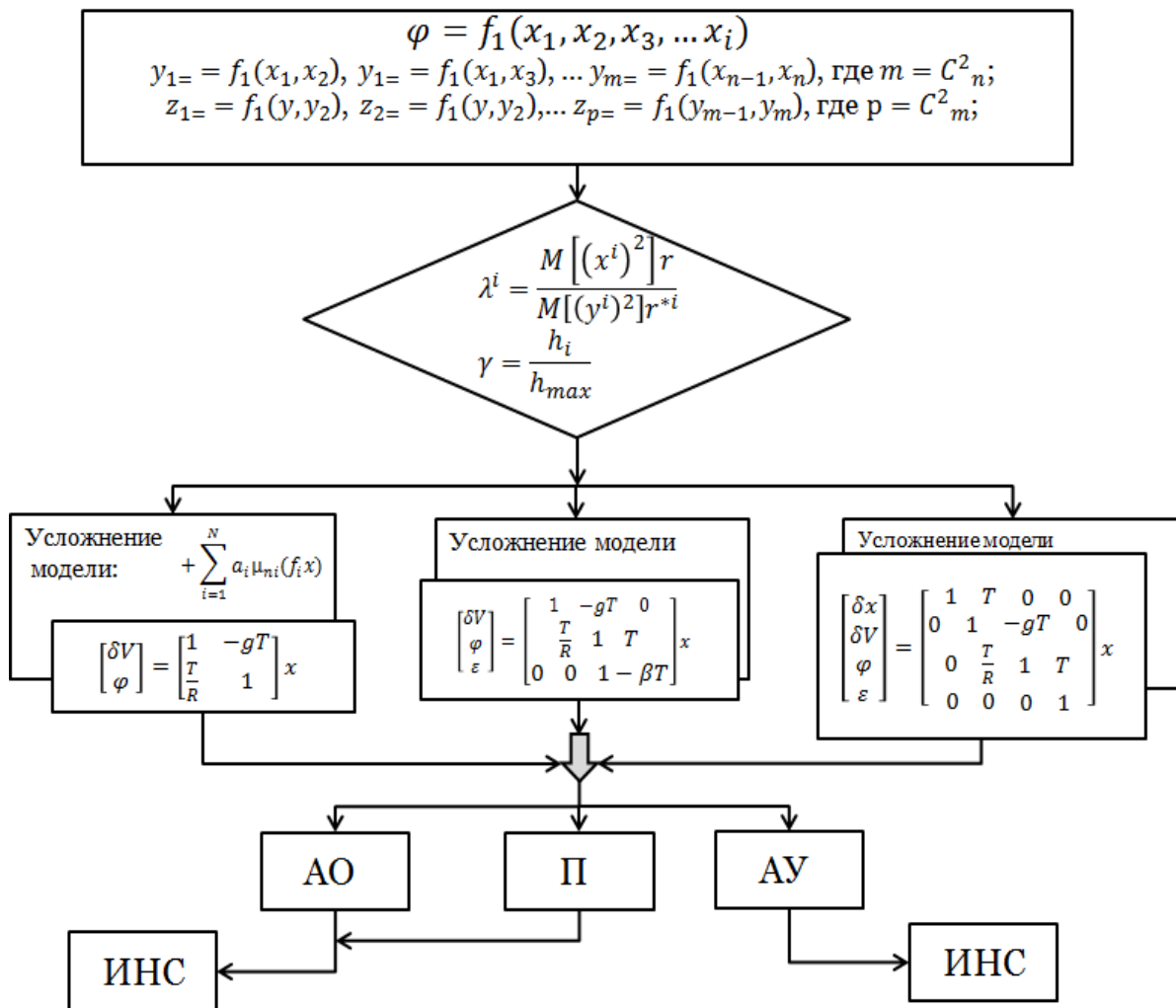


Рис. 1. Алгоритм работы блока селекции моделей.

Где АО – алгоритм оценивания; П – алгоритм прогноза; АУ – алгоритм управления.

После окончания интенсивного маневрирования БЛА модели усложняются с помощью нелинейных членов.

Результаты математического моделирования

Для исследования алгоритмов использована тестовая математическая модель погрешностей ИНС, которая имеет вид [1]:

$$\begin{aligned}
 X_k &= \Phi X_{k-1} + W_{k-1} \\
 z_k &= H X_k + V_k
 \end{aligned}
 \quad (3)$$

где X_k - n – вектор состояния, $n=3$, z_k - скалярное измерение, W_k - n -вектор входного шума, V_k - измерительный шум, W_k и V_k - дискретные аналоги белого гауссового шума, при любых j и k , $M[W_k] = 0$, $M[V_k] = 0$, $M[V_j W_k^T] = 0$,

Результаты математического моделирования углов отклонения ГСП от плоскости горизонта, полученные с использованием моделей различного уровня подробности представлены на рис.2.

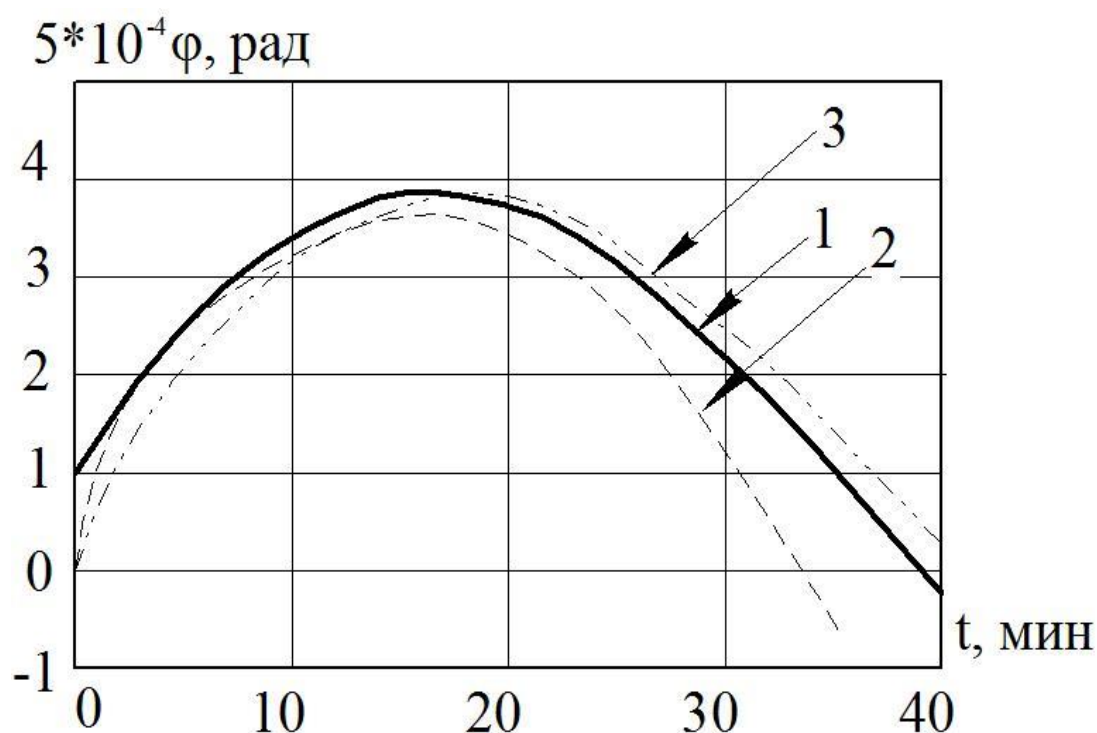


Рис. 2. Модели угла отклонения ГСП от плоскости горизонта

1 - Модель ошибок ИНС; 2 - Оценка углов отклонения ГСП полной моделью; 3 - Оценка углов отклонения ГСП редуцированной моделью.

По результатам математического моделирования в условиях стохастической неопределенности использование редуцированной модели позволяет повысить точность коррекции ИНС ИК ЛА в среднем на 5-15%

Выводы. Формирование алгоритмического обеспечения НК в рамках концепции динамического системного синтеза моделей позволяет повысить точность обработки информации о навигационных параметрах БЛА. Эффективность применения динамического системного синтеза моделей продемонстрирована с помощью математического моделирования. Актуальность применения концепции динамического системного синтеза продемонстрирована на примере создания алгоритмического обеспечения НК БЛА, осуществляющего мониторинг зон экологических катастроф.

Литература

1. Неусыпин К.А. Современные системы и методы наведения, навигации и управления летательными аппаратами. – М., Изд. МГОУ. 2009. – 500с.
2. Пролетарский А.В., Селезнева М.С. Система управления летательными аппаратами с использованием концепции системного синтеза // Технические науки – от теории к практике. 2016. №54. С. 73-77.
3. Селезнева М.С. Разработка навигационного комплекса летательного аппарата на основе концепции системного синтеза // Технические науки – от теории к практике. 2017. №2(62). С. 12-16.
4. М.С. Селезнёва, Кай Шэнь, А.В. Пролетарский, К.А. Неусыпин. Динамический системный синтез алгоритмического обеспечения навигационного комплекса летательного аппарата // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2017. №2. С. 1- 6.
5. Ивахненко А.Г., Мюллер Й.Я. Самоорганизация прогнозирующих моделей – Киев, Техника, 1985. 365 с.
6. Кай Ш., Пролетарский А.В., Неусыпин К.А. Исследование алгоритмов коррекции навигационных систем летательных аппаратов. Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение. 2016. № 2 (107). С.28-39.
7. Кай Ш., Селезнева М.С., Неусыпин К.А. Разработка алгоритма коррекции инерциальной

- навигационной системы в автономном режиме. Измерительная техника. 2017. № 10. С. 16-20.
8. Proletarsky A.V. Neusipin K.A. Reserch scalar filtering algorithm with selforganization method for modeling control system. Science and Military. 2010. Т. 5. № 2. С. 80 – 82.
 9. Proletarsky A.V. Neusipin K.A. Adaptive filtering for navigation systems of robot aircraft. Science and Military. 2010. Т. 5. № 1. С. 75 – 79.
 10. Неусыпин К.А. Разработка модифицированных алгоритмов самоорганизации для коррекции навигационной информации// Автоматизация и современные технологии.— М.: Машиностроение, 2009. — № 1. С. 37-39.
 11. Шэнь Кай, Неусыпин К. А. Исследование критериев степени наблюдаемости, управляемости и идентифицируемости линейных динамических систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. № 11. С. 723–731.

USE OF THE CONCEPT OF DYNAMIC SYSTEM SYNTHESIS FOR FORMING MODELS OF ALGORITHMIC SUPPORT OF AN ECOLOGICAL AIRCRAFT

M.S. Seleznev

Bauman MSTU

Monitoring of zones of ecological disasters is carried out by means of unmanned aerial vehicles. Obtaining reliable information about the state of an unmanned aerial vehicle is an urgent task in determining the sources and localization of the studied pollution zones. It is proposed to use the concept of dynamic system synthesis of models to improve the accuracy of the algorithmic support of an unmanned aerial vehicle. In flight, in the algorithmic support of the navigation complex of the aircraft, self-organizing models built in flight are used. To improve the qualitative characteristics of the models, the criteria for the degree of observability and controllability of state variables were used. The effectiveness of applying the concept of dynamic system synthesis of models is demonstrated through mathematical modeling.

Key words: environmental monitoring, unmanned aerial vehicle, dynamic system synthesis, models, self-organization, selection criteria.

СТРУКТУРА АВТОНОМНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ПРОБЛЕМЫ ИХ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

к.т.н. Абрамов С.В., к.т.н. Клинцов О.И., инж. Красавин В.А., к.ф.-м.н. Романец А.В.

ФГУП «НТЦ «Орион»

Рассматриваются структурные решения для автономных распределенных сенсорных сетей, которые могут быть использованы для предупреждения опасных природных ситуаций, техногенных катастроф, а также регулярного экологического мониторинга. Приведены требования к таким сетям, в частности необходимость дублирования функции передачи результатов измерений (данных) при выходе из строя отдельных элементов сети. Указана важность проблемы энергообеспечения элементов и узлов автономной распределенной сенсорной сети и обозначены подходы к ее решению.

Актуальность и значимость экологических проблем для глобальной повестки устойчивого развития современного социума определяет необходимость применения в данной сфере самых передовых технологий. Важнейшей составляющей для решения таких проблем является целенаправленный и постоянный сбор и анализ информации о состоянии экологических систем и интенсивности факторов антропогенного влияния на них. Эту функцию должны выполнять комплексные системы мониторинга экологической обстановки.

Следует отметить, что развитие технологий, увеличение численности населения Земли и расширение ареалов антропогенного и техногенного влияния, включая расширение различного рода производств, выдвигает к системам экологического мониторинга новые требования.

Прежде всего речь идет о необходимости проведения большого количества разнообразных измерений параметров окружающей среды. Например, как и ранее, необходимо измерять концентрации критически опасных химических веществ, особенно в зонах непосредственно примыкающих к источникам загрязнения – химическим и горно-обогатительным производствам и т.д. С другой стороны требуется измерение параметров, имеющих значение для глобального экомониторинга. Сюда можно отнести концентрации в атмосфере и в водной среде частиц смога, аэрозолей, сложной хлорсодержащей органики, тех же критически опасных химических веществ

(например, тяжелых металлов), но в концентрациях уже значительно меньших, чем в ситуациях аварий на опасных производствах, т.е. в концентрациях, сравнимых с предельно-допустимыми согласно санитарным нормам (ПДК). Иногда, для целей исследования негативных мультипликативных и синергетических эффектов и процессов, требуется измерение концентраций веществ и других параметров среды на уровнях, гораздо меньших тех, которые определяются санитарными нормами.

Помимо этого сама концепция безопасности и устойчивого развития социума и взгляды на взаимосвязь между благополучием личности и благополучием общества претерпевают изменения. Если ранее внимание экологов, эпидемиологов и санитарных врачей концентрировалось на факторах непосредственной угрозы здоровью людей, то в настоящее время все большее значение приобретают попытки анализа и учета комплексного «отложенного» влияния широкой совокупности факторов, определяемых как глобальными, так и локальными параметрами окружающей среды. Такая концепция с одной стороны свидетельствует об ужесточении требований к безопасности и благополучию индивидуумов – членов социума, но с другой стороны является более прагматичной. Так естественным образом возникают понятия экологических систем урбанистической среды, экологии рекультивируемых территорий, экологии неблагоприятных зон, включая зоны отчуждения вокруг опасных промышленных объектов.

Все перечисленное означает, что при измерениях в рамках экомониторинга:

- возросло и будет возрастать количество измеряемых параметров;
- измерения должны во многих случаях проводиться постоянно, т.е. непрерывно во времени;
- результаты измерений должны записываться, транслироваться в центры обработки данных, при необходимости – сохраняться в архивах и базах данных.

Вопросы обработки данных, их анализа и использования в моделировании и прогнозировании эволюции экосистем являются чрезвычайно важными, но выходят за рамки настоящей публикации. В данной работе рассматриваются вопросы организации автоматических распределенных сетей, состоящих из автономных (мульти-)сенсорных устройств, которые имеют возможность обмениваться получаемой в ходе измерений информацией и транслировать эту информацию (данные, результаты измерений) в центры обработки данных.

Структурные элементы таких сетей могут иметь различную конструкцию, в зависимости от конкретного их применения и конкретного перечня выполняемых сенсорами (датчиками) измерений. Однако структура сетей и принципиальная конструкция и компоновка составляющих их элементов имеют ряд общих черт и характеристик, определяемых требованиями энергоэффективности, возможности автономной удаленной работы, надежности, умеренного соотношения «цена-качество», скрытность размещения элементов и узлов (при необходимости обеспечения устойчивости против вандализма и неконтролируемого доступа). Сенсорная сеть должна допускать устойчивое функционирование и выполнение задач по назначению в условиях отказа ряда элементов, т.е. в части прежде всего трансляции полученных сенсорами данных в центр их обработки должно иметь место дублирование.

Одной из ключевых проблем, возникающих при использовании автономных распределенных сенсорных сетей, является проблема энергообеспечения. В общем случае она может быть решена путем использования технологий беспроводной передачи энергии (БПЭ) [1].

Приведем структуру типового автономного элемента распределенной сенсорной сети для экомониторинга. В этой структуре можно выделить три «тракта»:

- тракт обеспечения элемента сенсорной сети энергией;
- тракт «внутренней» передачи данных (результатов измерений) от сенсоров в составе элемента к устройству кодирования и подготовки информации к передаче (трансляции);
- тракт передачи информации внешним приемникам – другим элементам сенсорной сети (ретрансляторам) и/или приемным устройствам узла (центра) сбора данных.

Рассмотрим тракт (подсистему) обеспечения автономного сенсорного устройства энергией. Одним из основных элементов такой системы является аккумуляторная батарея с системой управления процессами зарядки и разрядки (т.е. использования запасенной энергии для функционирования элемента сенсорной сети). Вопросы управления такими процессами рассматривались в частности в работе [2], где также приведена библиография по данным вопросам.

Подзарядка аккумуляторной батареи может осуществляться за счет поглощения энергии оптического излучения или излучения радиодиапазона. В свою очередь используемый поток энергии может быть фоновым (например, излучение солнца для оптического диапазона и излучения радиоэфира и мобильных систем связи для радиодиапазона [3]). Эффективность использования фонового излучения зависит от геолокации сенсорной сети. По этой причине должна быть предусмотрена

возможность подзарядки аккумуляторных батарей автономных сетевых сенсорных устройств (элементов сети) посредством направленного потока оптического (лазерного) или радио-излучения [1, 4, 5]. Следует отметить, что технологии БПЭ на средние и дальние дистанции (где расстояние понимается в смысле классификации зон вокруг излучателя – ближней, промежуточной, дальней) находятся в настоящее время в стадии разработки. Тем не менее данное направление представляется как технологически необходимым, так и перспективным с учетом новейших достижений, микроэлектроники, радиотехники и фотоники.

Перспективным является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для дистанционной подзарядки автономных сенсорных сетевых устройств, диагностики состояния сенсорной сети и сбора данных [6].

В случае применения БПЛА более целесообразным представляется подзарядка автономных сетевых сенсорных устройств посредством потока лазерного излучения [7].

Отметим также, что обмен электромагнитными сигналами СВЧ, ТГц, ИК- и УФ- диапазонов между элементами и узлами сенсорной сети может предоставить дополнительную информацию о загрязнении атмосферы в зоне развертывания сенсорной сети различными веществами [8], аэрозолями, частицами смога и сложными органическими молекулами [9].

Литература

1. Абрамов С.В., Клинец О.И., Красавин В.А., Сперанский В.С., Романец А.В. Беспроводная передача энергии в системах ограниченной мощности. Анализ проблем и пути их решения // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов, №3-2023 С. 4 - 16
2. Абрамов С.В., Клинец О.И., Романец А.В., Красавин В.А., Сперанский В.С. Концептуальная модель управления процессом беспроводной передачи энергии в системах ограниченной мощности // Сб. докладов 25-ой международной конференции DSPA-2023/ С/ 175-180
3. Швебер Б. Антенная система на основе линзы Ротмана для сбора свободной энергии 5G на частоте 28 ГГц // Беспроводные технологии, № 4, 2020. С. 30-32. URL: <https://wireless-e.ru/wp-content/uploads/6130.pdf>
4. Тетельбаум С.И. О беспроводной передаче электроэнергии на большие расстояния с помощью радиоволн // Электричество. 1945. № 5. С. 43-46.
5. Dickinson R.M., Grey J. Laser Wireless Power Transmission // NASA Report 1999. URL: <https://trs.jpl.nasa.gov/bitstream/handle/2014/16855/99-0263.pdf?sequence=1>
6. Собираем квадрокоптер // URL:<http://quad-copter.ru/kak-sdelat-kvadrik.html>
7. Абрамов С.В., Клинец О.И., Красавин В.А., Сперанский В.С., Романец А.В. Использование матриц лазерных диодов для передачи энергии и информации в свободном пространстве // Сб. докладов XXIX Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь», С. 195-202
8. Третьяков М.Ю. и др. Димер воды и атмосферный континуум // УФН т. 184 № 11, ноябрь 2014, с. 1199 - 1215
9. Шубин Д.Н., Сперанский В.С., Абрамов С.В., Клинец О.И., Клементьев Д.А. Обзор системы связи в ультрафиолетовом диапазоне с высокой скоростью передачи данных. – Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов, №1, 2021 год.

STRUCTURE OF AUTONOMOUS DISTRIBUTED SENSOR NETWORKS FOR ENVIRONMENTAL MONITORING AND PROBLEMS OF THEIR POWER PROVIDING

Abramov S.V., Klintsov O.I., Krasavin V.A., Romanets A.V.

FGUP "NTC "Orion"

Structural solutions for autonomous distributed sensor networks that can be used to prevent hazardous natural situations, man-made disasters, as well as regular environmental monitoring are considered. The requirements for such networks are given, in particular, the need to duplicate the function of transmitting measurement results (data) in case of failure of individual network elements. The importance of the problem of power providing for elements and nodes work of the autonomous distributed sensor network is indicated and approaches to its solution are considered.

ФЛУКТУАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ ШУМОВЫХ СИГНАЛОВ

канд. физ.-мат. наук Калинин В.И.

Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН,
Фрязинский филиал

Проведен флуктуационный анализ корреляционных оценок при передаче информации с расширением спектра на основе непрерывных шумовых сигналов со спектральной модуляцией. Внесение дискретной информации производится в результате интерференции опорного шумового сигнала и задержанного шумового сигнала, который модулируется противоположными по знаку двоичными символами. Проведен статистический анализ спектральных и корреляционных характеристик при передаче информации в канале с аддитивным гауссовским белым шумом. Показана возможность уменьшения флуктуаций корреляционного эффекта на выходе приемника при передаче информации на основе сверхширокополосных шумовых сигналов.

Введение

Энергия несущих шумовых сигналов изменяется случайным образом в потоке передаваемой информации [1]. При исследовании помехоустойчивости шумовых систем передачи информации возникает проблема корреляционных оценок с изменяющимися во времени характеристиками [2]. Для устранения трендов при анализе случайных и хаотических процессов используют DFA (Detrended Fluctuation Analysis) алгоритмы [3]. В процессе автокорреляционной обработки производится обратное сжатие СШП шумовых сигналов со спектральной модуляцией в полосу частот информационных символов с последующим выделением передаваемых сообщений [4]. Альтернативным методом обработки шумовых сигналов со спектральной модуляцией является двойной спектральный анализ, в результате которого определяется корреляционный пик со сдвигом во времени, равным задержке информационного шумового сигнала [5].

Передача информации относительным методом

Статистический анализ корреляционных оценок при передаче информации выполнен для непрерывных несущих сигналов $y(t)$ с полосой частот $\Delta f = 1000$ МГц. С выхода полосового фильтра в передатчике несущий сигнал $y(t)$ разделяется на информационный и опорный каналы. В информационном канале производится задержка шумового сигнала $y(t)$ на время $T = 6$ нс, которое превышает время когерентности $\tau_c \approx 1/\Delta f = 1$ нс. Задержанный сигнал $y(t - T)$ умножается на противоположные значения $b_l = \pm 1$ в потоке информационных битов. Опорный сигнал $y(t)$ поступает на вход сумматора, на другой вход которого следует задержанный сигнал $b_l y(t - T)$, модулированный информационными символами. В линейном сумматоре происходит суперпозиция между опорным сигналом и задержанным информационным сигналом в виде:

$$z_l(t) = y(t) + b_l y(t - T) \quad (1)$$

При передаче информации относительным методом шумовой задержанный сигнал $b_l y(t - T)$, модулированный противоположными битами, поступает в линию связи вместе с опорным сигналом $y(t)$. Временная реализация суммарного шумового сигнала $z_l(t)$ при передаче двоичных битов в линии связи не отличается по внешнему виду от флуктуационного шума в той же полосе частот, что свидетельствует о высокой информационной скрытности шумовой системы связи [3].

Спектр мощности суммарного шумового сигнала $z_l(t)$ модулирован периодической функцией в виде:

$$\hat{S}_z(f) = 2\hat{S}_y(f)[1 + b_l \cos(2\pi fT)] \quad (2)$$

Случайные оценки спектров мощности для суммарного $z_l(t)$ и опорного $y(t)$ шумовых сигналов вычисляются за конечное время следования T_b каждого бита. Внесение двоичных данных $b_l = \pm 1$ производится в результате суперпозиции некогерентных сигналов, когда задержка T информационного сигнала $b_l y(t - T)$ относительно опорного сигнала $y(t)$ значительно превышает время когерентности

$$T \gg \tau_c \quad \text{или} \quad T \Delta f \gg 1 \quad (3)$$

При выполнении условия (3) спектральная плотность мощности (2) модулируется гармонической функцией в зависимости от частоты f с периодом, равным $F_m = 1/T$.

Из соотношений (3) вытекает выражение $\Delta f \gg F_m$. В полосе частот Δf шумового сигнала помещается много периодов F_m модуляции спектра (2). Тонкая интерференционная картина в спектре суммарного шумового сигнала (1), поступающего в линию связи при передаче информационных символов $b_l = \pm 1$, показана на рис. 1а,б. Из сравнения спектров на рис. 1а,б следует, что модуляция спектральной плотности мощности смещается на половину периода $F_m/2 = 1/(2T)$ при передаче противоположных символов $b_l = \pm 1$.

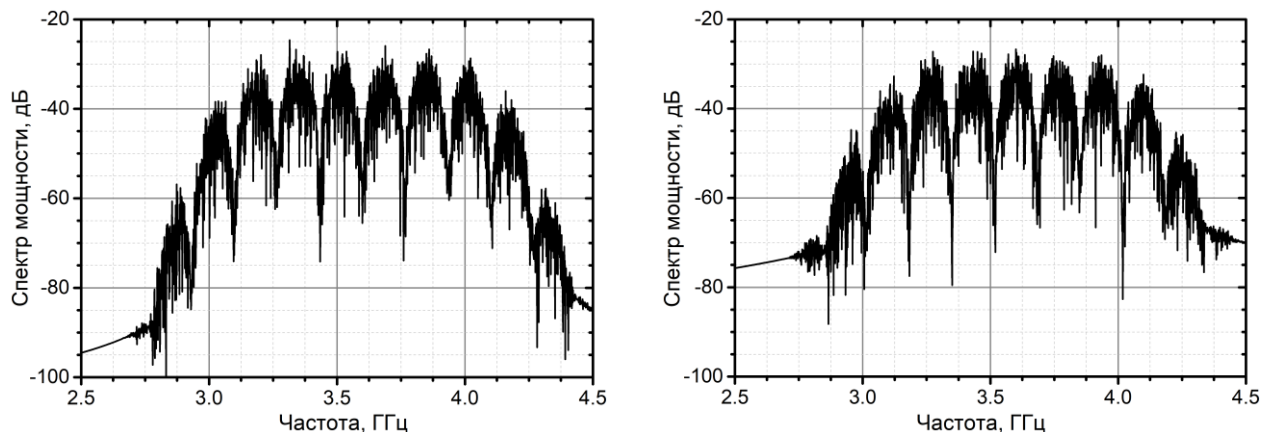


Рис.1 Смещение интерференционной картины в спектре при передаче (а) положительного «1»; (б) отрицательного «-1» символов.

Спектр двоичных символов, следующих со скоростью $C_b = 1$ Мб/с, занимает полосу частот $F_b \approx 1/T_b = 1$ МГц [ссылка]. В результате спектральной модуляции происходит расширение спектра информационных сообщений до полосы частот $\Delta f = 1000$ МГц суммарного сигнала (6). Коэффициент расширения спектра определяется в виде $B = \Delta f/F_b$ и составляет величину $B \approx \Delta f T_b = 1000$. Произведение полосы частот Δf и длительности бита T_b определяет базу $B = \Delta f T_b$ передаваемых сигналов. Увеличение базы сигналов $B = \Delta f T_b$ приводит к повышению помехоустойчивости систем передачи информации с расширением спектра при воздействии внешних помех и многолучевом распространении [1].

Анализ флуктуаций корреляционных оценок

Суммарный шумовой сигнал (1) с выхода передатчика поступает в канал связи с аддитивной гауссовой помехой $n(t)$ в той же полосе частот Δf , как у полезного шумового сигнала $s(t)$. На входе автокорреляционного приемника присутствует аддитивная смесь передаваемого шумового сигнала и аддитивной гауссовой помехи:

$$r(t) = [y(t) + b_l y(t-T)] + n(t) \quad (4)$$

В приемнике производится автокорреляционная обработка поступившего сигнала (4) за конечное время длительности каждого бита. Длительность задержки T в корреляторе приемника соответствует информационной задержке несущего сигнала $b_l y(t-T)$. Эффект на выходе интегратора в приемнике определяется в виде корреляционного интеграла:

$$\hat{E}(b_l, T) = \frac{1}{T_b} \int_{t_l}^{t_l+T_b} r(t)r(t+T)dt \quad (5)$$

Здесь $t_l = t_0 + (l-1)T_b$ - начальный момент времени при поступлении l -бита ($l = 1, 2, 3, \dots$). Величина $\hat{E}(b_l, T)$ является случайной корреляционной оценкой, усредненной за конечное время T_b длительности b_l бита [18]. Корреляционный эффект (5) на выходе интегратора для поступившего сигнала (4) вычисляется в виде:

$$\begin{aligned} \hat{E}(b_l, T) = & b_l (\hat{k}_y(0) + \hat{k}_y(2T)) + 2\hat{k}_y(T) + \hat{k}_n(T) + \\ & + b_l \hat{k}_{yn}(0) + 2\hat{k}_{yn}(T) + b_l \hat{k}_{yn}(2T) \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь $\hat{k}_y$ и $\hat{k}_n$ являются случайными оценками, вычисленными за конечное время длительности бита T_b , для корреляционных функций исходного шумового сигнала $y(t)$ и помехи $n(t)$.

Полезный эффект на выходе корреляционного приемника определяется первым слагаемым $b_l \hat{k}_y(0)$ в формуле (6) при нулевом смещении $\tau = 0$. Истинное значение корреляционного эффекта на выходе интегратора определяется математическим ожиданием оценки:

$$E(b_l) = \frac{1}{T_b} \int_0^{T_b} M \{b_l \hat{k}_y(0)\} dt = b_l \sigma_y^2, \quad (7)$$

и зависит от средней мощности σ_y^2 несущего шумового сигнала $y(t)$. Смена знака для истинного значения (7) синхронно последовательности передаваемых битов $b_l = \pm 1$ свидетельствует о возможности однозначного восстановления передаваемой информации в приемнике. Собственные флуктуации мощности $\hat{\sigma}_y^2(b_l)$ относительно средней мощности σ_y^2 несущего шумового сигнала $y(t)$ ведут к случайному изменению корреляционного эффекта (6) в потоке информационных битов.

Внутрисистемные помехи характеризуются суммой флуктуационных составляющих корреляционных оценок в формуле (6) для несущего сигнала $y(t)$ в виде:

$$\hat{\Psi}_y(b_l, T) = b_l [\hat{k}_y(0) - \sigma_y^2] + b_l \hat{k}_y(2T) + 2\hat{k}_y(T), \quad (8)$$

которые зависят от информационной задержки T и значения передаваемого символа $b_l = \pm 1$ в потоке битов. Внутрисистемные помехи (8) определяются собственными флуктуациями мощности $b_l (\hat{\sigma}_y^2(b_l) - \sigma_y^2)$ несущего шумового сигнала в сумме с флуктуациями корреляционных оценок $b_l \hat{k}_y(2T)$ и $2\hat{k}_y(T)$, которые являются малыми величинами при выполнении условия (3). Влияние внутрисистемных помех (8) с ненулевым средним значением приводит к случайному изменению и нестационарному смещению корреляционного эффекта (6) на выходе интегратора в приемнике. Внутрисистемные помехи (8) оказывают маскирующее воздействие на приемник в течение всего сеанса передачи данных как в отсутствие, так и при наличии внешних помех в канале связи.

Четвертое слагаемое $\hat{k}_n(T)$ в соотношении (6) является случайной оценкой для корреляционной функции внешней помехи $n(t)$ со сдвигом $\tau = T$. Полагаем, что аддитивные помехи $n(t)$ согласованы по спектру в той же полосе частот $\Delta f_n \approx \Delta f$, как для несущего шумового сигнала $y(t)$. Для широкополосных помех $n(t)$ с малым временем когерентности $\tau_n \approx 1/\Delta f_n$ относительно задержки T выполняется условие $T \gg \tau_n$ подобное требованию (3) к задержке T для информационной сигнала. В результате усреднения за время длительности каждого бита в корреляционном приемнике происходит эффективное подавление широкополосных помех до низкого уровня боковых выбросов со сдвигом T для оценки корреляционной функции $\hat{k}_n(T)$ внешних помех.

При вычислении корреляционного интеграла (5) следует учитывать мультипликативные оценки со сдвигом $\tau = 0; T; 2T$, которые определяются произведением шумового сигнала $y(t)$ и гауссовой помехи $n(t+\tau)$ при усреднении за конечное время T_b . Мультипликативные оценки являются малыми случайными величинами с нулевым средним значением при условии статистической независимости сигнала $y(t)$ и внешней помехи $n(t)$. Мультипликативные помехи в виде:

$$\hat{\Psi}_{kn}(b_l, T) = b_l \hat{k}_{yn}(0) + 2\hat{k}_{yn}(T) + b_l \hat{k}_{yn}(2T), \quad (9)$$

которые содержатся в правой части выражения (6), могут привести к повышению вероятности битовой ошибки в шумовой системе связи при высокой скорости передачи данных в каналах с сильными внешними помехами.

Внешние $\hat{k}_n(T)$ и внутрисистемные помехи $\hat{\Psi}_y(b_l, T)$ совместно с мультипликативными $\hat{\Psi}_{yn}(b_l, T)$ помехами приводят к возрастанию флуктуаций корреляционного отклика на выходе приемника по мере увеличения скорости передачи данных $C_b = 1/T_b$.

В процессе восстановления дискретной информации при выборе оптимального порога на выходе интегратора в приемнике, следует учитывать нестационарное смещение корреляционных оценок. При

передаче информации на основе противоположных шумовых сигналов, оптимальный порог может принимать нулевое значение, если информационная задержка во много раз превышает время когерентности как для несущего шумового сигнала, так и для внешней помехи.

Результаты флуктуационного анализа корреляционных оценок могут быть полезны для расчета вероятностных характеристик скрытых шумовых систем беспроводной передачи информации с расширением спектра, предназначенных для применения в персональных локальных WPAN сетях микроволнового и терагерцового диапазонов частот.

Работа выполнена в рамках государственного заказа ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

Литература

1. К. Феер, Беспроводная цифровая связь: методы модуляции и расширения спектра, Пер. с англ. М.: Радио и связь, 2000.
2. M.P.Kennedy, G. Kolumban, G. Kis, and Z. Jako, Performance evaluation of FM-DCSK modulation in multipath environments // IEEE Trans. Circuits Syst. I, vol. 47, pp.1673-1683, Dec. 2000.
3. О.Н. Павлова, А.Н. Павлов, Флуктуационный анализ динамики систем с меняющимися во времени характеристиками Письма в ЖТФ, **47** (9), 52 (2021). DOI: 10.21883/PJTF.2021.09.50910.18653
4. Калинин В.И., Передача информации на основе спектральной интерференции сверхширокополосных шумовых хаотических сигналов, Письма в ЖТФ, 2018, том 44, вып. 24, С. 45-51. DOI: 10.21883/PJTF.2018.24.47029.17301.
5. В.И. Калинин, В.В. Чапурский, Передача информации на основе шумовых сигналов со спектральной модуляцией // Радиотехника и электроника, 2015, Т. 60, № 10, С. 1025-1035. DOI: 10.7868/S0033849415100046.

FLUCTUATION ANALYSIS OF DIGITAL COMMUNICATIONS BASED ON ULTRA WIDEBAND NOISE SIGNALS

Kalinin V.I.

Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS, Frayzino branch

The fluctuation analysis of correlation estimations is performed for data transmission on the base of UWB noise signals with spectrum modulation. Discrete information data are inserted in result of the interference between the informative delayed signal and the reference. Correlation estimations are statistical evaluated for total noise signals propagating throw AGWN channel. The possibility to reduce correlation estimation fluctuations, to eliminate correlation trends and to increase the jamming protection of data transmission on the base of UWB noise signals is shown.

ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ЭНТРОПИЙНО- РАНДОМИЗИРОВАННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАКОПЛЕНИЯ МЕТАНА В ОЗЕРАХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Инж. Сокол Е.С.¹, инж. Тогачев А.А.¹, к.т.н. Попков А.Ю.², н.с. Дубнов Ю.А.^{2,3}, к.т.н. Полищук В.Ю.⁵, магистр Куприянов М.А.¹, проф., д.т.н. Попков Ю.С.^{2,4},

проф., д.ф.-м.н. Полищук Ю.М.¹

¹АУ «Югорский НИИ информационных технологий», г. Ханты-Мансийск, 628011, Россия.

²ФГБУН "Федеральный исследовательский центр «Информатика и Управление» РАН", Москва, **119333**, Россия,

³НИУ «Высшая школа экономики», Москва, 101000, Россия

⁴ФГБУН «Институт проблем управления РАН», Москва, 117997, Россия,

⁵ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН», Томск, 634055, Россия,

Рассмотрены вопросы разработки программно-алгоритмического комплекса энтропийно-рандомизированного машинного обучения для прогнозирования пространственно-временной динамики накопления метана в термокарстовых озерах арктической зоны России в условиях современных климатических изменений. Представленная архитектура программно-алгоритмического комплекса (ПАК) предполагает использование алгоритмов рандомизированного моделирования, позволяющих вычислять оценки функций плотности распределения вероятностей (ПРВ) параметров рандомизированной модели линейной динамической регрессии и измерительных шумов. Для прогнозирования

климатических параметров предложена модель динамической регрессии со входом в виде случайной последовательности, ПРВ которой определяются с использованием процедуры энтропийно-рандомизированного машинного обучения и коллекции обучающих данных. Развиваемые процедуры и технологии рандомизированного прогнозирования применены для обучения, тестирования модели прогнозирования динамики объемов накопления метана в термокарстовых озерах Российской Арктики.

Работа проводилась при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 22–11–20023.

Введение

По нашему мнению, наиболее перспективным для разработки эффективной модели прогнозирования представляется подход, основанный на методах рандомизированного машинного обучения, которые показали высокую эффективность в решении проблем прогнозирования мировой экономики, демографии и др. [1]. Особую важность рандомизированный подход представляет для решения задач прогнозирования динамики накопления метана и других парниковых газов в термокарстовых озерах Арктики в связи с их влиянием на глобальные климатические изменения, что может явиться основой разработки и функционирования систем адаптации к меняющимся условиям среды обитания на различных управленческих уровнях.

В задачах моделирования и прогноза динамики объемов метана в термокарстовых озерах наиболее характерной является ситуация, когда объемы массивов реальных данных скудны, а сами данные содержат ошибки. В этих условиях оценивание значений характеристик (параметров) модели осуществляется по малому количеству не вполне достоверных данных. Если их рассматривать как случайные объекты, то и оценки характеристик модели приобретают свойства случайных переменных. Поэтому естественным образом возникает предложение рассматривать параметры модели как случайные величины. Это предложение приводит к трансформации модели с детерминированными параметрами в модель со случайными параметрами, которую будем далее называть рандомизированной моделью.

В отличие от детерминированных моделей, где восстанавливаются оценки параметров, в рандомизированных моделях необходимо сформировать оптимальные оценки функций плотности распределения вероятностей (ПРВ) параметров модели. Последнее достигается методами рандомизированного машинного обучения [1]. Смысл рандомизированного прогнозирования состоит в том, чтобы, используя энтропийно-оптимизированную модель, генерировать ансамбль предсказательных траекторий при энтропийно-наихудших измерительных шумах (ошибках) и определять его числовые характеристики методами математической статистики.

Известно [2], что объемы озерной эмиссии парниковых газов в атмосферу на отдельной территории определяются суммарной площадью озер на этой территории. Поэтому важной с точки зрения прогнозирования объемов озерной эмиссии парниковых газов в атмосферу является информация о динамике площадей термокарстовых озер на различных территориях Арктики, получаемая в настоящее время вследствие труднодоступности и высокой степени заболоченности арктических территорий дистанционными методами с использованием спутниковых снимков. Полученные в результате дистанционных исследований озер с использованием оптических спутниковых снимков среднего разрешения (30 м) Landsat экспериментальные данные об изменениях площадей термокарстовых озер в арктической зоне [3–6] составляют информационную основу технологии рандомизированного прогнозирования динамики накопления метана в термокарстовых озерах Арктики. Важной составной частью исторических экспериментальных данных для рандомизированного прогнозирования объемов озерной эмиссии парниковых газов в атмосферу являются климатические параметры – среднегодовая температура воздуха и годовая сумма осадков, влияющие на изменение площади озер. Эти климатические параметры для исследуемой территории Российской Арктики получены на основе систем реанализа метеорологических полей, в частности, ERA-5, ERA-INTERIM и др. [4].

Важными этапами разработки РПМ для прогнозирования эволюции термокарстовых озер является обучение и тестирование РПМ. Обучение РПМ состоит в оценивании ПРВ ее параметров и шумов по имеющимся данным. Обучение реализуется с помощью алгоритмов РМО [1]. Имеющиеся исторические данные, согласно вышеизложенному, включают средние значения площадей озер, среднегодовые температуры воздуха и годовые суммы осадков на арктических территориях, полученные за 35–40 летний период [5,6]. Для развития технологии рандомизированного прогнозирования возникает необходимость создания программно-алгоритмического комплекса прогнозирования, основанного на применении алгоритмов энтропийно-рандомизированного моделирования. Вопросы создания таких комплексов применительно к моделированию

пространственно-временной динамики полей термокарстовых озер в настоящее время не разработаны, что и определяет цель настоящего сообщения.

Алгоритмические основы рандомизированного моделирования

Согласно [7], формирование рандомизированных моделей эволюции площади термокарстовых озер и влияющих на нее климатических параметров предполагает для моделирования указанных переменных использование математических моделей линейной динамической рандомизированной регрессии (ЛДРР). Временная эволюция площади озер (ЛДРР-П) $S[n]$ описывается следующим уравнением динамической рандомизированной регрессии с двумя влияющими факторами - среднегодовой температурой $T[n]$ и годовой суммой осадков $R[n]$:

$$S[n] = a_0 + \sum_{k=1}^p a_k S[n-k] + a_{(p+1)} T[n] + a_{(p+2)} R[n],$$

где

$$a_k \in \mathcal{A}_k = [a_k^-, a_k^+], k = \overline{0, (p+2)};$$

$$a = \{a_0, \dots, a_{p+2}\} \in \mathcal{A} = \bigcup_{k=0}^{p+2} \mathcal{A}_k$$

Наблюдаемый выход модели

$$v[n] = S[n] + \xi[n],$$

где $\xi[n]$ - измерительный шум.

Случайные параметры модели характеризуются функцией ПРВ $P(\mathbf{a})$. Значения случайного измерительного шума $\xi[n]$ в различные моменты n времени могут принадлежать различным интервалам:

$$\xi[n] \in \Xi_n = [\xi^-[n], \xi^+[n]]$$

с функцией ПРВ $Q_n(\xi[n])$, $n = \overline{0, N}$.

Для обучения этой модели, т.е. оценивания функций ПРВ $P(\mathbf{a})$, $Q_n(\xi[n])$, используются коллекции исторических данных о площади озер, температуре и осадках. Однако, на этапе прогнозирования площади прогнозные данные о температуре и осадках отсутствуют. Для их генерации формируются вспомогательные модели температуры ЛДРР-Т и осадков ЛДРР-О. Подробное описание этих моделей дано в [7].

Архитектура программно-алгоритмического комплекса

ПАК имеет микросервисную архитектуру, т.е. некоторые его части (сервисы) существуют автономно, являясь отдельными узко специализированными приложениями, и взаимодействуют с остальными компонентами по сети. Для реализации многопользовательского режима работы ПАК необходимо управление очередью сообщений, представляющих собой задачи для прогнозирования или подготовки данных. Для управления очередью сообщений выбран программный продукт с открытым исходным кодом Apache Kafka [8]. Архитектура программно-алгоритмического комплекса дана на рисунке 1.

Дадим описание основных составных частей архитектуры ПАК. Интерфейс ПАК разработан на основе широко используемой при создании геопорталов серверной географической информационной системы NextGIS Web [9], обеспечивающей функции: создание и отображение цифровых карт и использование их в качестве геопорталов; выполнение навигации по картам; взаимодействие с внешними программами; отображение данных в виде графиков; загрузку данных о площадях озер в виде Shape-файлов и таблиц Excell; загрузку данных о климатических параметрах в виде таблиц Excell. Часть перечисленных функций являются встроенными в NextGIS Web, остальные реализуются в процессе разработки ПАК. В качестве СУБД сервера базы данных выбрана широко используемая PostgreSQL [10] с расширением PostGIS [11], позволяющая хранить геоданные и имеющая встроенные пространственные функции (определение пересечения, расчет площади и т.п.).

Указанные на рисунке 1 модули прогнозирования имеют схожую структуру, но основаны на разных моделях. Модули прогнозирования включают компоненты обучения, тестирования и прогнозирования. Модуль прогнозирования площади озер основан на модели ЛДРР-П, модуль прогнозирования климатических параметров - на моделях ЛДРР-О и ЛДРР-Т. Все модули прогнозирования объединены в один сервис, реализованный на языке программирования Python 3.10. Взаимодействие с этим сервисом осуществляется через очередь сообщений.

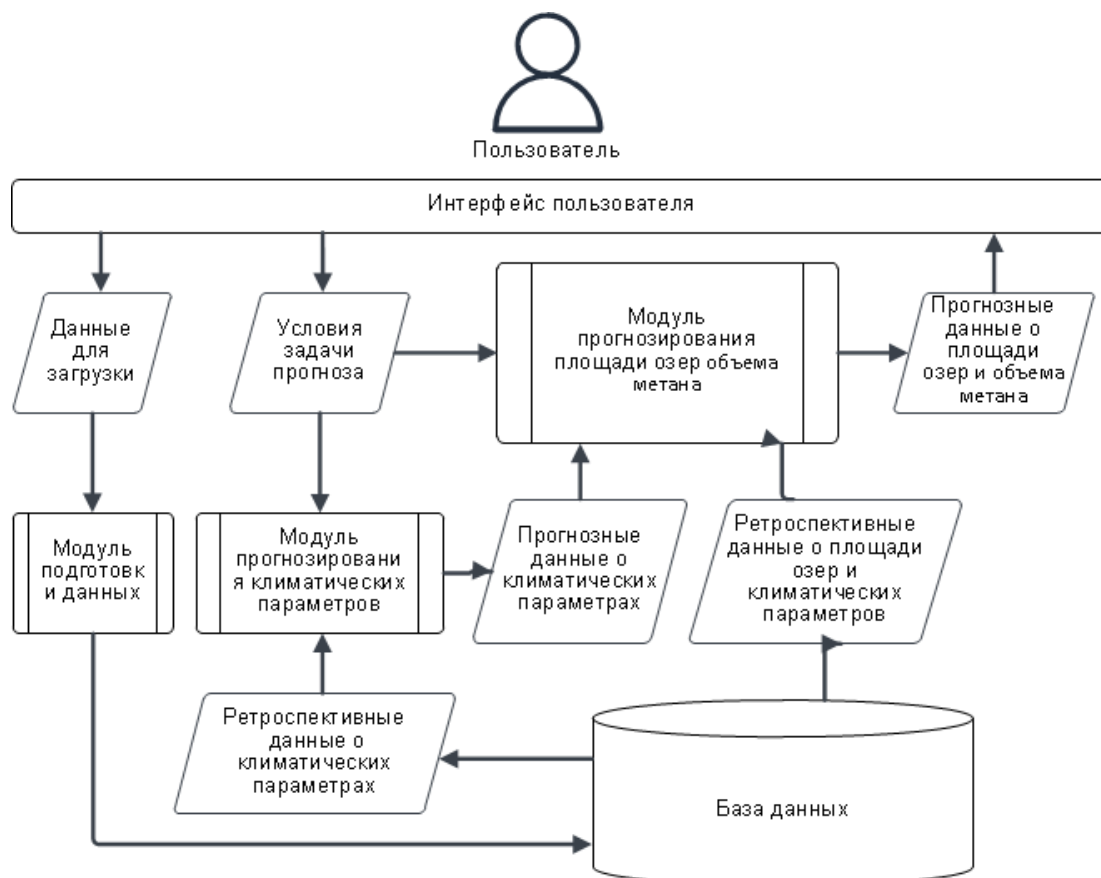


Рисунок. 1. Архитектура программно-алгоритмического комплекса

Модуль подготовки данных реализован как отдельный сервис, разработанный на языке Python 3.10. Он включает в себя компоненту восстановления пропусков в данных о средней площади озер, возникающих из-за большого количества пасмурных дней на арктических территориях [12]. Загружаемые в ПАК данные имеют форматы Shape-файлов и таблиц Excel. Конечным результатом работы ПАК являются временные ряды прогнозных значений средней площади озер в заданных арктических регионах. Предполагается возможность свободного использования разработанного исходного программного кода ПАК согласно лицензии GPLv3 [13]. Заметим, что NextGIS Web - серверная ГИС, на основе которой разработан интерфейс ПАК, также распространяется на основе лицензии GPLv3.

Литература

1. Попков Ю.С., Попков А.Ю., Дубнов Ю.А. Рандомизированное машинное обучение при ограниченных объемах данных: От эмпирической вероятности к энтропийной рандомизации. – М.: ЛЕНАНД. – 320 с.
2. Полищук Ю.М., Полищук В.Ю., Брыксина Н.А., Покровский О.С., Кирпотин С.Н., Широкова Л.С. Методические вопросы оценки запасов метана в малых термокарстовых озерах криолитозоны Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326. – № 2. – С. 127-135.
3. Polishchuk Y.M., Bogdanov A.N., Muratov I.N., Polishchuk V.Y., Lim A., Manasypov R.M., Shirokova L.S., Pokrovsky O.S. Minor contribution of small thaw ponds to the pools of carbon and

- methane in the inland waters of the permafrost - affected part of the Western Siberian lowland // Environmental Research Letters. 2018. Vol. 13. P. 1-16.
4. Полищук В.Ю., Полищук Ю.М. Геоимитационное моделирование полей термокарстовых озер в зонах мерзлоты. - Ханты-Мансийск: УИП ЮГУ, 2013. – 129 с.
 5. Polishchuk V.Y., Polishchuk Y.M. Modeling of thermokarst lake dynamics in West-Siberian permafrost. Chapter 6 // In Book: Permafrost: Distribution, Composition and Impacts on Infrastructure and Ecosystems (Edited by O. Pokrovsky). NY: Nova Science Publishers, 2014.- P. 205-234. DOI 10.978-94-007-4569-8.
 6. Полищук Ю. М., Богданов А. Н., Брыксина Н. А., Полищук В.Ю., Муратов И. Н., Куприянов М. А., Байсаямова О. А., Днепровская В. П. Опыт и результаты дистанционного исследования озёр криолитозоны Западной Сибири по космическим снимкам различного разрешения за 50-летний период // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2017. Том 14. № 6. С. 42-55. DOI:10/21046/2070-7401-2017-14-6-42-55.
 7. Дубнов Ю.А., Попков А.Ю., Полищук В.Ю., Сокол Е.С., Мельников А.В., Полищук Ю.М., Попков Ю.С. Алгоритмы рандомизированного машинного обучения для прогнозирования эволюции площади термокарстовых озер в зонах вечной мерзлоты // Автоматика и телемеханика, 2023. № 1, С. 98-120.
 8. Apache Kafka. Available at: <https://kafka.apache.org/documentation/> (accessed 2 June 2023).
 9. NextGIS Web. Available at: https://docs.nextgis.ru/docs_ngweb/source/toc.html#nextgis-web (accessed 2 June 2023).
 10. PostgreSQL. Available at: <https://postgrespro.ru/docs/postgresql> (accessed 2 June 2023).
 11. PostGIS. Available at: <https://postgis.net/documentation/> (accessed 2 June 2023).
 12. Popkov Y.S., Sokol E.S., Melnikov A.V., Polishchuk V.Y., Polishchuk Y.M. A randomized algorithm for restoring missing data in the time series of lake areas using information on climatic parameters // Advances in Social Science, Education and Humanities Research. Atlantis Press, 2020. Vol. 483. P. 186-190.
 13. Standard public license GNU (GPL). Available at: <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html> (accessed 2 June 2023).

SOFTWARE AND ALGORITHMS FOR ENTROPY-RANDOMISED PREDICTION OF METHANE ACCUMULATION IN LAKES IN THE RUSSIAN ARCTIC BASED ON SATELLITE IMAGERY

Eugeny S. Sokol¹, Aleksandr A. Togachev¹, Aleksey Y. Popkov², Yury A. Dubnov^{2,3}, Vladimir Y. Polishchuk⁵, Matvey A. Kupriyanov¹, Yuri S. Popkov^{2,4}, and Yuri M. Polishchuk¹

¹Ugra Research Institute of Information Technologies, Khanty-Mansiysk, 628011, Russia

²Federal Research Centre «Computer Sciences and Control» RAS, Moscow, 119333, Russia

³Higher School of Economics, Moscow, 101000, Russia

⁴Trapeznikov Institute of Control Sciences RAS, Moscow, 117997, Russia

⁵Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, 634055, Russia

The issues of developing a software-algorithmic complex of entropy-randomized machine learning for predicting the spatial and temporal dynamics of methane accumulation in thermokarst lakes in the Arctic zone of Russia under conditions of modern climatic changes are considered. The presented architecture of the software-algorithmic complex (PAC) assumes the use of randomized modeling algorithms, which allow calculating estimates of probability density functions (PDFs) of randomized linear dynamic regression model parameters and measurement noises. A dynamic regression model with a random sequence input, the PDFs of which are determined using an entropy-randomized machine learning procedure and a collection of training data, is proposed for predicting climatic parameters. The developed procedures and techniques of randomized prediction were applied to train and test a model for predicting the dynamics of methane accumulation in thermokarst lakes in the Russian Arctic.

The work was carried out with the financial support of the grant of the Russian Science Foundation, project No. 22-11-20023.

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА УРБАНИЗИРОВАННОМ ВОДОСБОРЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОДНОГО, ТВЕРДОГО И ХИМИЧЕСКОГО СТОКА

с.н.с. Черницова О.В., проф., д.г.н. Кошелева Н.Е., м.н.с. Васильчук Дж.Ю., проф., д.г.н. Герасимова М.И., асп. Пискарева В.М., с.н.с., к.г.н. Ежелев З.С., н.с., к.г.н. Гасина А.И.
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва

Актуальность изучения режима водного стока, баланса наносов и загрязняющих веществ на водосборах городских рек определяется необходимостью выяснения особенностей функционирования техногенно-измененных гидрологических систем. Целью данного исследования является ГИС-картографирование почвенного покрова урбанизированного водосбора малой реки и создание базы пространственно-распределенных почвенных данных для информационного обеспечения почвенно-гидрологической модели SWAT. Исследование выполнено для водосбора р. Сетунь, расположенного в пределах Московской городской агломерации. На основе картографических данных интернет-сервиса OSM выполнено функциональное зонирование территории водосбора; для участков городской застройки определена доля запечатанных поверхностей. Составлена почвенная карта бассейна р. Сетунь в масштабе 1:50 000. Контуры подтипов природных и близких к природным дерново-подзолистых почв, в том числе, с признаками урбогенеза, определены с использованием критериев рельефа, почвообразующих пород, растительности. При картографировании собственно городских почв использована концепция урбопедокомбинаций, согласно которой участки с определенным типом землепользования характеризуются как комбинации почв/почвоподобных тел/грунтов и непочвенных образований (запечатанных территорий). Для почвенных разностей, представленных на карте, создана база данных физико-химических и водно-физических свойств почв, которые будут использованы в качестве входной информации для модели SWAT.

Введение. Информация о почвах, их пространственной неоднородности и основных физико-химических свойствах имеет существенное значение при моделировании гидрологических процессов и стока наносов и загрязняющих веществ. Одной из широко используемых моделей является физически обоснованная модель SWAT (Soil and Water Assessment Tool, почвенно-гидрологический инструмент оценки) [10]. Модель SWAT не предъявляет жестких требований к размеру водосборов и может быть реализована как для природных, так и для урбанизированных территорий [13]. Особенностью модели SWAT является ее интеграция с геоинформационными системами, что предполагает возможность применения в качестве входных данных пространственно-распределенных параметров, в первую очередь, данных о почвенном покрове и свойствах почв, влияющих на поверхностный сток и инфильтрацию воды и растворенных веществ в почвы.

В большинстве работ по моделированию водного, твердого и химического стока на основе модели SWAT для информации о почвах используют существующие базы данных (БД), включающие как оцифрованные почвенные карты, как правило, масштабов 1:200000-1:500000, так и различные показатели, характеризующие свойства почв на уровне таксономических единиц, представленных на соответствующих почвенных картах [11]. Для территории Российской Федерации цифровые версии почвенных карт картографических масштабов, соответствующих задачам моделирования гидрологических процессов, созданы лишь для отдельных областей, при этом карты содержат информацию только о природных почвах и не имеют связанных с ними БД по почвенным свойствам. Примером такой карты может служить цифровая версия карты, отражающей актуальные данные о почвенном покрове Московского региона в масштабе 1:300 000 [8]. Применение таких карт для извлечения информации о городских территориях крайне ограничено, поскольку природные почвы в городах приурочены к небольшим по площади участкам сохранившихся коренных ландшафтов.

Ранее было показано [11, 12], что пространственный масштаб, в котором разрабатывается база почвенных данных, не оказывает существенного влияния на результат моделирования при использовании инструмента SWAT, однако средний картографический масштаб не позволяет в полной мере отобразить почвенный покров урбанизированной территории. Для адекватного представления пространственной неоднородности, прежде всего, водно-физических свойств городских почв, влияющих на гидрологические процессы, необходимо составление почвенной карты большей детальности, чем обеспечивают среднемасштабные (1:100 000-1:1 000 000) карты.

Цель данного исследования – картографирование почвенного покрова урбанизированного водосбора малой реки на основе ГИС-технологий и создание базы пространственно-распределенных почвенных данных для моделирования водного, твердого и химического стока с использованием почвенно-гидрологической модели SWAT.

Изучаемая территория. Исследование выполнено для водосбора малой городской реки Сетунь, правого притока р. Москва, площадью около 190 км². В границах «старой» Москвы находится 57,4% площади водосбора, Новой Москвы – 21%, Московской области – 21,6%. Территория

вдоль реки в черте Москвы (от МКАД до устья) включена в созданный в 2003 г. природный заказник «Долина реки Сетунь» площадью около 700 га.

Долина р. Сетунь расположена в северо-западной части Теплостанской возвышенности, образованной приподнятым выступом коренных пород, представленных песчано-глинистыми толщами юры и нижнего мела. На поверхности залегают покровные суглинки, подстилаемые днепровской мореной и, реже, флювиогляциальными песками [5]. Коренной рельеф претерпел значительные изменения: засыпаны овраги и промоины, раскрывавшиеся в долину р. Москвы и ее притоков, а часть поймы поднята над уровнем воды подсыпкой грунтов на 3–4 м. Зональные природные почвы водосбора – дерново-подзолистые – сохранились фрагментарно, в лесах и лесопарках. В пойме р. Сетунь и ее притоков распространены аллювиальные луговые и болотные почвы. В районах городской застройки границы почвенных разностей во многом определяются расположением дорог и зданий [4, 7]. Застроена примерно треть площади водосбора р. Сетунь; около 11% занято промышленными зонами. В истоке р. Сетунь находится закрытый полигон твердых бытовых отходов (ТБО) Саларьево, рекультивация которого проведена в 2018–2020 гг.

Материалы и методы. Почвенная карта бассейна р. Сетунь составлена с помощью геоинформационных (ГИС) технологий. Основными источниками данных послужили картографические материалы и результаты полевых исследований, систематизированные и организованные в виде ГИС-проекта с интегрированной базой данных (БД) о свойствах почв. В качестве цифровой топографической основы использованы данные проекта Open Street Map (OSM), содержащие данные о гидрографии, дорожной сети, участках землепользования, зданиях и прочее с подробностью, соответствующей картографическим масштабам 1:5 000–1:10 000. Рельеф охарактеризован морфометрическими характеристиками (уклоны поверхности, топографический индекс влажности), вычисленными по цифровой модели рельефа ALOS DEM с пространственным разрешением 12 м.

Для учета различных факторов почвообразования оцифрованы и спроецированы в систему координат данных OSM опубликованные среднемасштабные тематические карты, характеризующие природные условия территории, – почвенная, геоморфологическая, геологическая, ландшафтная, карты растительности и техногенных отложений [2, 7], а также почвенная карта из Экологического атласа Москвы 2002 г. [9] и карта четвертичных образований [5]. В ГИС-проект включены также фондовые материалы – рукописная почвенная карта природного заказника «Долина реки Сетунь» масштаба 1:11 000 и точки почвенных/ландшафтных описаний (материалы исследований, выполненных в 2004–2005 гг. Департаментом природопользования и охраны окружающей среды Москвы, предоставлены сотрудником факультета почвоведения МГУ М.В. Конюшковой). Для дифференциации растительности на территории лесов и лесопарков использованы данные дистанционного зондирования: выполнена автоматическая классификация майского и сентябрьского (2020 г.) снимков со спутника Sentinel-2; по этим же снимкам вычислен вегетационный индекс NDVI. Полученные изображения имеют пространственное разрешение 10 м. Для уточнения истории землепользования главным образом, на незастроенных, без растительности, участках использованы также исторические карты и доступные архивные данные космической съемки.

Для картографирования и создания БД по основным физико-химическим свойствам почв (гранулометрический состав, величина pH, удельная электропроводность водной вытяжки, содержание органического углерода) использованы результаты катенарных и площадных исследований почв, выполненных в бассейне Сетуни в 2019–2021 гг. Данные катенарных исследований содержат описания профилей изученных почв и их свойства по генетическим горизонтам; площадных исследований – характеристики поверхностных горизонтов почв. В БД включены также результаты определения физико-химических и водно-физических свойств почв, влияющих на гидрологические процессы (плотность почвы, доступная влагоемкость, водопроницаемость) в 8 разрезах, заложенных осенью 2022 г. на водосборе в различных функциональных зонах: природно-рекреационной, селитебной, промышленной. Отбор проб выполнен по генетическим горизонтам.

В качестве вспомогательных материалов в БД вошли описания почв, полученные при проведении учебных практик географического факультета МГУ по почвоведению в Ульяновском лесопарке в 2020–2021 гг., а также опубликованные данные почвенных исследований, выполнявшихся на территории бассейна р. Сетунь [7, 14].

Результаты. Картографирование почвенного покрова урбанизированного водосбора р. Сетунь выполнено на основе сочетания традиционных подходов к составлению крупномасштабных почвенных карт и опыта картографирования почв городских территорий [1, 3]. При выделении

почвенных разностей использованы классификация почв РФ 2004 г. [6] и классификация городских почв, приведенная в работе [4]. Размеры выделенных почвенных выделов соответствуют картографическому масштабу 1:50 000. Цифровая версия почвенной карты представлена векторным геоинформационным слоем.

На водосборе р. Сетунь формируются природные и близкие к природным почвы (на сохранившихся участках долины р. Сетунь и ее притоков, в лесах и лесопарках); а также почвы с различным уровнем антропогенного воздействия и техногенные грунты, приуроченные к районам собственно городской застройки. Различия в генезисе почв и грунтов определяют особенности разграничения почвенных разностей, а также набор факторов почвообразования, учитываемых при картографировании тех или иных участков урбанизированного водосбора. Поскольку определяющим фактором развития почвенного покрова на данной территории является тип землепользования [4], на основе данных OSM выполнено функциональное зонирование водосбора: выделены парцеллы лесов и лесопарков, городские кварталы с многоквартирными домами, участки малоэтажной застройки, коммерческие и деловые районы, промышленные зоны. Незастроенные участки долины р. Сетунь и ее притоков определены по космическим снимкам высокого пространственного разрешения. Через операции ГИС-анализа для функциональных зон города вычислены: доля площади водонепроницаемых участков, находящихся под зданиями; запечатанных почв под асфальтовым покрытием автомобильных дорог и парковок; почв и почвоподобных тел газонов.

Контуры природных и близких к природным почв определены с использованием критериев рельефа, почвообразующих пород, растительности. При выделении подтипов аллювиальных и болотных почв долин учтены данные полевых исследований в природном заказнике «Долина реки Сетунь». На природных и природно-рекреационных участках водоразделов выделены различные подтипы дерново-подзолистых почв, в том числе, с признаками урбогенеза.

Границы контуров собственно городских (антропогенно-нарушенных) почв, как правило, совпадают в районах городской застройки с границами участков с различными типами землепользования. К числу факторов разграничения таких почв, помимо рельефа, почвообразующих пород и растительности, добавляется информация об истории землепользования и данные о пространственном распределении и характере техногенных отложений. При картографировании собственно городских почв использована концепция урбопедокомбинаций [1], или педогородских комплексов [15], которая предполагает, что участки с определенным типом землепользования или функциональные зоны характеризуются как комбинации почв/почвоподобных тел/грунтов и непочвенных образований (запечатанных территорий). Водно-физические свойства почв на таких участках в БД почвенных свойств определяются по типу преобладающей по площади городской почвы. На водосборе р. Сетунь определены следующие типы поверхностных тел: урбо-почвы (поверхностно-преобразованные природные почвы), урбаноземы, культуроземы и индустриземы (глубоко-преобразованные почвы), экраноземы (запечатанные почвы), реплантоземы и конструктоземы (почвоподобные тела).

Водно-физические и физико-химические параметры почв, необходимые для моделирования гидрологических процессов, были получены для 8 разрезов, заложенных в разных типах почв и в техногенных грунтах. Полученные результаты позволили количественно определить водно-физические свойства почв водосбора, включая плотность, доступную влагоемкость, водопроницаемость отдельных генетических горизонтов/слоев, которые имеют значительную вариабельность. Установлено, что антропогенно-нарушенные почвы уплотнены по сравнению с природными. Водопроницаемость техногенных грунтов и антропогенно-преобразованных почв определяется строением профиля и может быть, в целом, как выше, так и ниже водопроницаемости природных почв. Доступная влагоемкость выше в природных почвах.

Величина pH верхних горизонтов увеличивается по мере роста техногенной нагрузки – от слабокислых значений в фоновой дерново-подзолистой почве до нейтральных и слабощелочных в антропогенно-нарушенных почвах и техногенных грунтах. Изученные почвы и грунты обогащены органическим веществом: содержание органического углерода в верхних горизонтах варьирует от 4,1 до 15% с максимумом в техногенных грунтах Очаковской промзоны. С глубиной значения во всех изученных разрезах снижаются до 1,9-3,6%. Удельная электропроводность ЕС природных почв и почв с незначительной техногенной нагрузкой слабо дифференцирована по профилю. В городских почвах селитебной зоны и в техногенных грунтах распределение значений ЕС по профилю имеет ярко выраженные максимумы и минимумы, с общим превышением значений относительно природных и условно ненарушенных почв.

Количественная характеристика физико-химических и водно-физических свойств выделенных на почвенной карте почв/почвоподобных тел/грунтов, в которых разрезы не закладывались, дана на основе экспертных оценок и литературных данных.

По результатам обобщения и систематизации данных об основных водно-физических и физико-химических свойствах почв и почвоподобных тел в бассейне р. Сетунь создана БД, структурированная для использования в модели SWAT. Для каждой представленной на карте почвенной разности в нее включена информация о количестве выделенных генетических горизонтов/слоев, максимальной глубине проникновения корней, принадлежности к одной из почвенно-гидрологических групп SWAT, а также о водно-физических и физико-химических свойствах каждого выделенного горизонта/слоя. Цифровая модель (геоинформационный слой) почвенной карты и база почвенных данных будут использованы в качестве входной информации для моделирования водного, твердого и химического стока в бассейне р. Сетунь с использованием инструмента SWAT.

Заключение. Картографирование в масштабе, позволяющем характеризовать неоднородность и мозаичность почвенного покрова урбанизированной территории, наряду с созданием базы пространственно-распределенных почвенных данных, – обязательный шаг при реализации почвенно-гидрологической модели малого урбанизированного водосбора на основе инструмента SWAT, позволяющий восполнить недостаток релевантной почвенной информации. Полученные результаты дадут возможность повысить качество моделирования баланса наносов и загрязняющих веществ в водосборе малой городской реки за счет детализации водно-физических и физико-химических характеристик городских почв на основе выполненных полевых и химико-аналитических исследований. Проведенные исследования представляют методический интерес как опыт информационного обеспечения моделирования гидрологических процессов на урбанизированных территориях.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 075-15-2021-574 Министерства науки и высшего образования РФ.

Литература

1. Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Принципы создания почвенной карты мегаполиса (на примере Санкт-Петербурга) // Почвоведение. 2014. № 7. С. 790–802.
2. Большой атлас Москвы. М.: Феория, 2012. 1000 с.
3. Власов Д.В., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Картографирование ландшафтно-геохимической структуры урбанизированной территории (на примере Москвы) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2017. Т. 23. № 1. С. 242–255.
4. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы. М.: Юрайт, 2017. 263 с.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Карта четвертичных отложений. Лист N-37-II (Москва), 1997. Масштаб 1:200000.
6. Классификация и диагностика почв России. Авторы и составители: Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Смоленск: Ойкумена, 2004. 235 с.
7. Прокофьева Т.В., Герасимова М.И. Городские почвы: диагностика и классификационное определение по материалам научной экскурсии конференции SUITMA-9 по Москве // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1057–1070.
8. Цифровая среднемасштабная Почвенная карта Московского региона (под ред. И.О. Алябиной) [Электронный ресурс]. - URL: <https://soil-db.ru/> (дата обращения 15.06.2023).
9. Экологический атлас Москвы. ГУП НИИПИ Генплана г. Москвы, 2002. 94 с.
10. Gassman P., Reyes M., Green C., Arnold J. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions // Transactions of the ASABE. 2007. Vol. 50. № 4. P. 1211–1250.
11. Geza M., McCray J.E. Effects of soil data resolution on SWAT model stream flow and water quality predictions // Journal of Environmental Management. 2008. Vol. 88 (3). P. 393–406.
12. Escamilla-Rivera V., Cortina-Villar S., Vaca R., Golicher D., Arellano-Monterrosas J., Honey-Rosés J. Effects of Finer Scale Soil Survey and Land-Use Classification on SWAT Hydrological Modelling Accuracy in Data-Poor Study Areas // Journal of Water Resource and Protection. 2022. Vol. 14. P. 100–125.
13. Koltsida E., Mamassis N., Kallioras A. Hydrological modeling using the SWAT Model in urban and periurban environments: The case of Kifissos experimental sub-basin (Athens, Greece). 2021.

DOI:10.5194/hess-2021-482.

14. Prokof'eva T., Umarova A., Bykova G., Suslenkova M., Ezhelev Z., Kokoreva A., Gasina A., Martynenko I. Morphological and physical properties in diagnostics of urban soils: case study from Moscow, Russia // Soil Science Annual. 2020. Vol. 71(4). P. 309–320.
15. Sobocká J., Saksa M., Szatmári D., Ferane J., Kopecká M. A complexity related to mapping and classification of urban soils (a case study of Bratislava city) // Soil Science Annual. 2020. Vol. 71(4). P. 321–333.

SOIL MAPPING OF URBANIZED WATERSHED FOR MODELING WATER, SOLID AND CHEMICAL RUNOFF

Chernitsova O.V., Kosheleva N.E., Vasil'chuk J.Yu., Gerasimova M.I., Piskareva V.M.,
Ezhelev Z.S., Gasina A.I.

Lomonosov Moscow State University, Moscow

The relevance of studying the regime of water runoff, as well as the balance of sediments and pollutants, in the watersheds of urban rivers is determined by the need to specify the main features of the functioning of hydrological systems under anthropogenic impact. The aim of the research was the soil mapping of a small urban river watershed using GIS-technologies, along with the creation of a database of spatially distributed soil data for information support of the soil-hydrological SWAT model. The research was performed for the river Setun watershed, located within the Moscow urban agglomeration. Based on the cartographic data of the OSM Internet service, the territory was divided into land use zones; for urban areas, the proportion of sealed surfaces was determined. The soil map of the Setun watershed was compiled on a scale of 1:50,000. Plots of subtypes of natural and close to natural soddy-podzolic soils, including those with signs of urban genesis, were identified using the criteria of relief, parent rocks, and vegetation. When mapping the actual urban soils, the concept of urbopedocombinations was used, according to which areas with a certain type of land use are characterized as combinations of soils/soil-like bodies/grounds and non-soil formations (sealed areas). For soils and grounds identified on the watershed, the database of physical-chemical and water-physical properties of soils has been created, which will be used as input data for the SWAT model.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОГЕННО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНХРОТРОННЫХ МЕТОДОВ

в.н.с., д. ф.-м. н. Шуваева В.А., м.н.с., к. ф.-м. н. Киричков М.В., в.н.с., к. б. н. Невидомская Д.Г.,
м.н.с. Цицуашвили В. С.

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Исследование миграционной способности и степени токсичности соединений тяжелых металлов (ТМ) имеет важное значение для изучения их подвижности в экосистемах и оценки экологических рисков. В данной работе рассмотрены способы применения различных физических методов анализа с использованием синхротронного излучения для изучения техногенно-загрязненных почв. Особенности данного вида излучения являются высокая яркость, малая угловая расходимость испускаемого излучения, высокая степень линейной и круговой поляризации и непрерывный спектр от инфракрасной до рентгеновской области. В работе приводятся данные по следующим методам диагностики – рентгеновская спектроскопия поглощения (XAS), которая включает в себя ближнюю тонкую структуру рентгеновского поглощения (XANES) и протяженную тонкую структуру рентгеновского поглощения (EXAFS), рентгеновская дифракция (XRD), рентгеновская флуоресценция (XRF) и инфракрасная спектроскопия с Фурье-преобразованием (FTIR), а также их различные комбинации. Обоснована необходимость комплексной диагностики структуры исследуемых образцов методами синхротронного излучения для получения подробной и надежной информации о металлсодержащих минеральных фазах в составе исследуемых почвенных образцов.

Загрязнение окружающей среды химическими веществами – одна из самых серьезных проблем, стоящих перед современным человечеством. Тяжелые металлы (ТМ) не подвергаются биodeградации с течением времени. Они могут изменять форму своих соединений, проявлять канцерогенные, мутагенные и токсические свойства в отношении всех компонент экосистемы организмов [1, 2].

Для оценки степени загрязнения ТМ в природных средах применяются различные аналитические методы, использующие рентгеновское излучение: рентгеновская спектроскопия поглощения (X-ray absorption, XAS), которая включает в себя ближнюю тонкую структуру рентгеновского поглощения (X-ray absorption near edge structure, XANES) и протяженную тонкую структуру рентгеновского поглощения (extended X-ray absorption fine structure, EXAFS), рентгеновская дифракция (X-ray diffraction, XRD), рентгеновская флуоресценция (X-ray fluorescence, XRF), рентгеновская фотоэлектронная микроскопия (X-ray photoelectron spectroscopy, XPS) и инфракрасная

спектроскопия с Фурье-преобразованием (Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR). Также часто используются комбинации этих методов, которые подобраны таким образом, чтобы дополнять и подтверждать результаты друг друга. Наиболее эффективными можно считать комбинации, одновременно определяющие элементный и фазовый состав и картирующие распределение элементов: XAS/XRD, XAS/XRF, XRD/XRF [3, 4]. Тенденцией последних лет является нарастание использования источников синхротронного излучения. Их улучшенные характеристики по сравнению с компактными лабораторными источниками излучения позволяют значительно повысить уровень чувствительности к «следовым» концентрациям изучаемых элементов за счет высокой яркости, малой расходимости и возможности подстройки длины волны синхротронного излучения [5]. Это особенно важно, поскольку многие ТМ обладают кумулятивным действием и могут незаметно накапливаться в костях и тканях человека и животных с течением времени, что может приводить к тяжелым заболеваниям без ярко выраженных симптомов [6].

Рентгеновская дифракция (XRD) является одним из наиболее часто используемых методов изучения минеральной структуры различных полидисперсных сред [7, 8]. Метод позволяет определить атомную структуру кристаллического образца, параметры элементарной ячейки, пространственную симметрию, положение и тип атомов. Зная параметры элементарной ячейки, можно рассчитать такие характеристики, как межатомные расстояния, валентность, торсионные углы и т.д. XRD позволяет изучать структуру исследуемых образцов без какой-либо предварительной информации об их строении и даже элементном составе. Кроме того, этот метод позволяет оценить средний размер нанокристаллитов с помощью уравнения Шеррера, связывающего размеры малых кристаллитов с шириной дифракционных пиков [9]. Основное преимущество применения XRD с использованием синхротронного излучения – возможность получения исключительно узконаправленного, высокоинтенсивного и параллельного пучка рентгеновских лучей, что снижает неоднородность области исследуемого образца грунта. Таким образом, использование источника синхротронного излучения позволяет получить множество дифракционных спектров различных малых участков одного образца. При анализе неоднородных по структуре образцов, таких как почвы, донные отложения, осадки сточных вод, дорожная пыль и пр. специализированные станции в синхротронных центрах позволяют сканировать поверхность образца с высоким пространственным разрешением и выполнять картирование с помощью методики μ -XRD. XRD часто комбинируют с другими методами анализа образцов почвы. Наиболее популярными методами, которые сочетаются с XRD, являются XAS [10], XRF [11], инфракрасная Фурье-спектроскопия (FTIR) [12] и сканирующая электронная микроскопия (SEM) [11]. В некоторых исследованиях XRD является единственным методом первичной диагностики [13]. В настоящее время актуально выполнение анализа качества почв сельскохозяйственного назначения: агроценозов, лесных насаждений, рисовников и др. [14, 15]. Другой интенсивно изучаемой областью являются загрязненные ТМ техногенные почвы – почвы вокруг заводов, производств химической и горнорудной отраслей и т.д. [15, 16].

При сочетании XRD с методиками последовательной химической экстракции становится возможно эффективное обнаружение минеральных фаз с низким содержанием и «перекрывающимися» пиками на спектрах XRD. В работе [17] использована комбинация метода XRD и метода селективной последовательной экстракции Bureau of Reference (BCR) для анализа минеральных фаз в загрязненной техногенной почве (рисунок 1). После каждого этапа экстракции получали и анализировали отдельные дифрактограммы. Подобная комбинация методов позволила диагностировать особенности образования и накопления соединений металлов и трансформационные процессы на молекулярном уровне при техногенном почвообразовании.

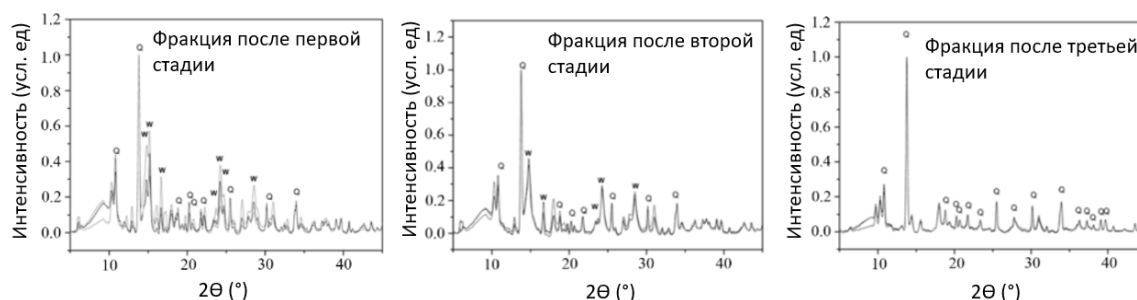


Рисунок 1. Доминирующие минеральные соединения на дифрактограммах образцов техногенно загрязненных почв после селективной последовательной экстракции методом BCR [17].

Рентгенофлуоресцентный анализ (XRF) — один из наиболее эффективных спектроскопических методов для определения элементного состава вещества. XRF чаще всего используется в качестве основного метода анализа почвенных образцов [18]. Комбинации XRF-XANES/ μ XRF- μ XANES также активно используются [3, 19]. Наибольшая эффективность метода достигается при использовании источников синхротронного излучения.

Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS) — полуколичественный спектроскопический метод изучения элементного состава, химического и электронного состояния атомов. XPS может получать информацию о самых верхних атомных слоях образца, но не информацию из его внутреннего объема. Например, в работе [16] был исследован механизм удаления ионов кадмия (Cd) из загрязненной почвы путем их взаимодействия с минеральным восстановительным материалом Ca-Si (CSRМ) с использованием метода XPS. В этом исследовании было обнаружено, что адсорбция Cd^{2+} приводит к уменьшению адсорбции Ca^{2+} . Спектры XPS после адсорбции показали наличие связей Cd-O (CdO) и Cd-O (CdCO_3) на поверхности CSRМ.

Ближняя тонкая структура рентгеновского поглощения (XANES) чувствительна к локальной геометрии, атомной электронной структуре вещества, валентности и локальной координации поглощающих атомов [20]. XANES часто используется с XRF [21, 22]. Также обычной практикой является сочетание метода XANES с методами SEM и XRD [23]. Метод XANES оказался очень эффективным в сочетании с методом последовательного фракционирования [17, 23]. В частности, с использованием XANES-спектроскопии при комбинировании с химическим методом последовательного фракционирования Тессье была изучена структурная организация образцов искусственно загрязненной почвы, насыщенной ионами Cu^{2+} и Zn^{2+} [24]. При анализе различных полидисперсных сред методы XANES/EXAFS позволяют идентифицировать соединения ТМ. Например, для идентификации соединений Zn в загрязненных почвах использовалась комбинация из методов XRD, XANES и EXAFS (рисунок 2) [25]. Анализ выявил молекулярно-структурные изменения Zn в сильнозагрязненных почвах, свидетельствующие о формообразовании металлов в природно-техногенных условиях.

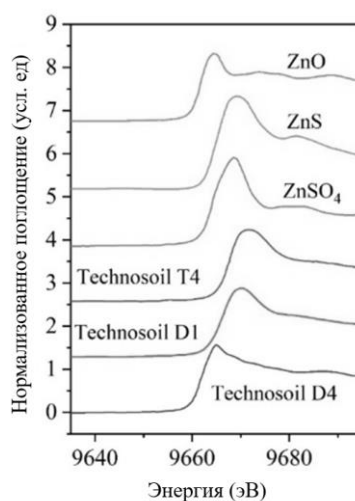


Рисунок 2. XANES-спектры образцов загрязненных почв в сравнении с цинксодержащими соединениями [25].

Инфракрасная спектроскопия с Фурье-преобразованием (FTIR) используется для анализа функциональных групп атомов в исследуемом веществе. Наиболее эффективной комбинацией является использование FTIR с EDX и/или XPS, которые дают представление о возможном качественном и количественном составе образца [11, 14]. Еще одним широко используемым методом в сочетании с FTIR является XRF [26]. Причем эта комбинация используется не только для загрязненных ТМ почв, но и для органических загрязняющих веществ [27]. Например, комбинированный анализ FTIR-XPS показал, что хелатирование и отложение Cd(II) играют значительную роль в адсорбции металла красными почвами [28]. Спектры FTIR использовались для исследования химических изменений на поверхности почвы, вызванных обработкой биочаром из двухкомпонентного ферромарганцевого оксида. В другой работе были проанализированы свойства куриного помета с целью разработки эффективного и экологически чистого метода его переработки [29]. Наличие основных функциональных групп и высокое содержание органического углерода и микроэлементов было определено с помощью FTIR. В исследовании использовался подход,

основанный на методе субкритической водной экстракции для переработки свежего куриного помета при различных температурах.

В последнее время, вопросы, связанные с экологическими последствиями загрязнения почв, сохраняют большую актуальность и нуждаются в дополнительных расширенных междисциплинарных исследованиях. Постоянное совершенствование источников синхротронного излучения (увеличение яркости генерируемого пучка, степени пространственной и временной когерентности, диапазона доступных энергий) резко расширяет возможности связанных с ними методов, позволяя всесторонне изучать и получать новые данные о таком сложном полидисперсном объекте исследования как почва.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ (проект № 21-77-20089) Южного федерального университета.

Литература

1. Su C., Jiang L., Zhang W. A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques // Environ. Scept. Crit. 2014. Vol. 3. P. 24-38.
2. El Ati-Hellal M., Hellal F. Heavy Metals in the Environment and Health Impact, 2021.
3. Strawn D., Baker L. Speciation of Cu in a contaminated agricultural soil measured by XAFS, mu-XAFS, and mu-XRF // Environmental science & technology. 2008. Vol. 42. P. 37-42.
4. Burachevskaya M., Minkina T., Mandzhieva S., Bauer T., Nevidomskaya D., Shuvaeva V., Sushkova S., Kizilkaya R., Gülser C., Rajput V. Transformation of copper oxide and copper oxide nanoparticles in the soil and their accumulation by *Hordeum sativum* // Environmental Geochemistry and Health. 2021. Vol. 43, № 4. P. 1655-1672.
5. Dinnebier R., Friese K. MODERN XRD METHODS IN MINERALOGY // . 2023.
6. Kamran S., Shafaqat A., Samra H., Sana A., Samar F., Muhammad B., Saima A., Tauqeer H. M. Heavy Metals Contamination and what are the Impacts on Living Organisms // Greener Journal of Environmental Management and Public Safety. 2013. Vol. 2. P. 172-179.
7. Mourdikoudis S., Pallares R., Thanh N. Characterization Techniques for Nanoparticles: Comparison and Complementarity upon Studying Nanoparticle Properties // Nanoscale. 2018. Vol. 10.
8. Kahle M., Kleber M., Jahn R. Review of XRD-based quantitative analyses of clay minerals in soils: the suitability of mineral intensity factors // Geoderma. 2002. Vol. 109, № 3. P. 191-205.
9. Kumar M., Ranjan R., Srivastava R., Sinha M. XRD Analysis for Characterization of Green Nanoparticles: A Mini Review // GJPPS.MS. 2022. Vol. 10. P. C. GJPPS.MS.ID.555779 (2022).
10. Minkina T., Nevidomskaya D., Bauer T., Shuvaeva V., Soldatov A., Mandzhieva S., Zubavichus Y., Trigub A. Determining the speciation of Zn in soils around the sediment ponds of chemical plants by XRD and XAFS spectroscopy and sequential extraction // Science of The Total Environment. 2018. Vol. 634. P. 1165-1173.
11. Zialame A., Jamshidi Zanjani A., Khodadadi-Darban A. Stabilized magnetite nanoparticles for the remediation of arsenic contaminated soil // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2020. Vol. 9. P. 104821.
12. Jones E. J., McBratney A. B. In Situ Analysis of Soil Mineral Composition Through Conjoint Use of Visible, Near-Infrared and X-Ray Fluorescence Spectroscopy // Digital Soil Morphometrics / Hartemink A. E., Minasny B. – Cham: Springer International Publishing, 2016. P. 51-62.
13. Rooney C., McLaren R., Condron L. M. Control of lead solubility in soil contaminated with lead shot: Effect of soil pH // Environmental pollution (Barking, Essex : 1987). 2007. Vol. 149. P. 149-57.
14. Wang L., Huang X., Zhang J., Wu F., Liu F., Zhao H., Hu X., Zhao X., Li J., Ju X., Ji P. Stabilization of lead in waste water and farmland soil using modified coal fly ash // Journal of Cleaner Production. – 2021. Vol. 314. P. 127957.
15. Yang X., Zhao L., Haque M. A., Chen B., Ren Z., Cao X., Shen Z. Sustainable conversion of contaminated dredged river sediment into eco-friendly foamed concrete // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 252. P. 119799.
16. Zeng M., Zhou X., Guo J., Liu K., Zhong C., Liu Y. In situ remediation of Cd(II) contaminated paddy fields with activated CaSi mineral material derived from Potash feldspar and its mechanism // Ecological Engineering. 2020. Vol. 158. P. 106052.
17. Nevidomskaya D. G., Minkina T. M., Soldatov A. V., Bauer T. V., Shuvaeva V. A., Zubavichus Y. V., Trigub A. L., Mandzhieva S. S., Dorovatovskii P. V., Popov Y. V. Speciation of Zn and Cu in Technosol

- and evaluation of a sequential extraction procedure using XAS, XRD and SEM–EDX analyses // *Environmental Geochemistry and Health*. 2021. Vol. 43, № 6. P. 2301-2315.
18. Assawadithalard M. Integrated Spatial Approaches for Long-Term Monitoring of Cadmium Contamination Caused by Rainfall Erosion: A Case Study of Overland Sediment in Mae Sot, Thailand // *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2020. Vol. 121.
 19. Strawn D., Baker L. Molecular characterization of copper in soils using X-ray absorption spectroscopy // *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*. 2009. Vol. 157. P. 2813-21.
 20. Chen L. X., Liu T., Thurnauer M. C., Csencsits R., Rajh T. Fe₂O₃ Nanoparticle Structures Investigated by X-ray Absorption Near-Edge Structure, Surface Modifications, and Model Calculations // *The Journal of Physical Chemistry B*. 2002. Vol. 106, № 34. P. 8539-8546.
 21. Yanping Z., Cui J., Chan T.-s., Chen Y.-h., Li X.-D. Mechanistic insight into the interactions of EDDS with copper in the rhizosphere of polluted soils // *Environmental Pollution*. 2020. Vol. 267. P. 115453.
 22. Xi Y., Wang Y., Lu S. Tracking the magnetic carriers of heavy metals in contaminated soils based on X-ray microprobe techniques and wavelet transformation // *Journal of Hazardous Materials*. 2019. Vol. 382. P. 121114.
 23. Pinskiy D., Minkina T., Bauer T., Nevidomskaya D., Shuvaeva V., Mandzhieva S., Tsitsuashvili V., Burachevskaya M., Chaplygin V., Barakhov A., Veligzhanin A., Svetogorov R., Khramov E., Iovcheva A. Identification of Heavy Metal Compounds in Technogenically Transformed Soils Using Sequential Fractionation, XAFS Spectroscopy, and XRD Powder Diffraction // *Eurasian Soil Science*. 2022. Vol. 55. P. 613-626.
 24. Minkina T., Soldatov A., Motuzova G. V., Podkovyrina Y., Nevidomskaya D. Speciation of copper and zinc compounds in artificially contaminated chernozem by X-ray absorption spectroscopy and extractive fractionation // *Journal of Geochemical Exploration*. 2014. Vol. 144.
 25. Minkina T., Nevidomskaya D., Shuvaeva V., Bauer T., Soldatov A., Mandzhieva S., Trigub A., Zubavichus Y., Ghazaryan K. Molecular characterization of Zn in Technosols using X-ray absorption spectroscopy // *Applied Geochemistry*. 2019. Vol. 104. P. 168-175.
 26. Xiao Z., Xie X., Pi K., Gong J., Wang Y. Impact of organic matter on arsenic mobilization induced by irrigation in the unsaturated and saturated zones // *Journal of Hydrology*. 2021. Vol. 602. P. 126821.
 27. Yin J., Huang G., An C., Zhang P., Xin X., Feng R. Exploration of nanocellulose washing agent for the green remediation of phenanthrene-contaminated soil // *J Hazard Mater*. 2021. Vol. 403. P. 123861.
 28. Zhou Q., Liao B., Lin L., Song Z., Khan Z. H., Lei M. Characteristic of adsorption cadmium of red soil amended with a ferromanganese oxide-biochar composite // *Environ Sci Pollut Res Int*. 2019. Vol. 26, № 5. P. 5155-5163.
 29. Sushkova S., Minkina T., Chaplygin V., Nevidomskaya D., Rajput V., Bauer T., Mazarji M., Bren A. B., Popov I., Mazanko M. Subcritical water extraction of organic acids from chicken manure // *J Sci Food Agric*. 2021. Vol. 101, № 4. P. 1523-1529.

INVESTIGATION OF TECHNOGENIC POLLUTED SOILS USING SYNCHROTRON-BASED METHODS

Shuvaeva. V.A., Kirichkov M.V., Nevidomskaya D.G., V. S. Tsitsuashvili
South Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Determining the migration ability and toxicity of heavy metals (HMs) is important in studying of their mobility in an ecosystem and assessing environmental risks. In this paper, we consider methods for applying various physical methods of analysis using synchrotron radiation, the features of which include high brightness of radiation, small angular divergence of the emitted study, a high degree of linear and circular polarization, and a continuous spectrum from infrared to X-ray. Examples of the use of the most common analytical methods are given - X-ray absorption spectroscopy (XAS), which includes the X-ray absorption near edge structure (XANES), extended X-ray absorption fine structure (EXAFS), X-ray diffraction (XRD), and less popular ones — X-ray fluorescence (XRF), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), as well as their various combinations. The necessity of complex diagnostics of the structure of the studied samples by synchrotron radiation methods is substantiated in order to obtain detailed and reliable information about the metal-containing mineral phases in the composition of the studied samples.

The study was supported by the Russian Science Foundation Grant № 21-77-20089, <https://rscf.ru/project/21-77-20089/>

ТРАДИЦИОННАЯ И НЕТРАДИЦИОННАЯ ОРИЕНТАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

доц., к.т.н. Щелоков Я.М.¹, проф., д.т.н., проф. Лисиенко В.Г.², доц., к.т.н., доц. Чесноков Ю.Н.², доц., к.т.н. Лаптева А.В.³

¹СРО19 «Союз «Энергоэффективность»

²Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

³Уральский государственный экономический университет

В научно-технической литературе и сети Интернет регулярно появляются многочисленные публикации о возобновляемых источниках энергии (ВИЭ), которые называют нетрадиционными. Именно ВИЭ во многом способствовали формированию энергетической составляющей мировоззрения у человечества в целом и появлению многих традиций, некоторые из которых сохраняются до сих пор. Тем не менее, оценки возможностей широкого применения ВИЭ и в настоящее время колеблются от восторженных мнений до умеренно пессимистических. Попытаемся разобраться, на какую энергетику следовало бы ориентироваться и какая является традиционной.

О топливно-энергетическом комплексе России

Наш топливно-энергетический комплекс (ТЭК) не работает по правилам МИРЭС [3]. Почему? Энергетический сектор обеспечивает значительную часть ВВП России. Особенности развития энергетического сектора проявляются и в мировом масштабе. В большинстве прогнозов от мировых энергетических структур звучит тезис, что энергетика как вид экономической деятельности превращается в политическое условие устойчивого развития всей мировой экономической системы.

Но отличие России от других стран в том, что в ней сложился, в том числе и полученный по наследству, совершенно недоступный для других стран уровень правового статуса монопольных субъектов. Сейчас это в основном частные структуры, обеспечивающие производство и сбыт сетевых энергоресурсов (электроэнергия, тепловая энергия, природный газ и др.). Государственное регулирование монопольных структур может развиваться по двум направлениям [2]:

- ориентации исключительно на критерий затрат (тарифный вариант);
- поощрения конкуренции при контроле за эффективностью на основе сравнительного анализа (benchmarking).

Энергетика – это межотраслевой комплекс, от разведки ископаемого топлива до его использования в любом производственном, бытовом процессе, поэтому энергетическое законодательство неправомерно ограничивать защитой интересов только производительно-распределительной части энергетического сектора, которая выбрала себе название ТЭК. Основу энергетического права, тем более в России – стране с богатейшим ресурсным потенциалом, должны составлять единый закон об энергетике (энергетическом хозяйстве), закон об обеспечении энергией (точнее, сетевыми ресурсами), а также нормы конкурентного, договорного права в энергетической сфере [2]. Можно утверждать, что именно в этом кроется основная причина ситуации, когда в базовые (написанные в угоду ТЭК) федеральные законы об энергосбережении (№ 261-ФЗ), о теплоснабжении (№ 190-ФЗ), об электроэнергетике (№ 35-ФЗ) и т. д. регулярно вносятся изменения, а также формируются системы соответствующих подзаконных актов. Как бы могло повлиять на этот процесс наличие единых законов об энергетическом хозяйстве?

О принципах справедливости

Общие нормы закона против ограничения конкуренции и специальные нормы закона об энергетическом хозяйстве относительно недискриминационного и прозрачного доступа к сетям обеспечивают соблюдение принципов справедливого гражданско-правового обмена при заключении договора. Масштабом для государственного контроля является цена, которая бы имела место в условиях реальной конкуренции (так называемая гипотетическая конкурентная цена) [2]. Энергетические, особенно сетевые, ресурсы не являются полноценным рыночным товаром. Иначе говоря, у них нет аналога, который можно приобрести в свободном доступе. Более того, нельзя отказаться и от поставщика. Конечно, иногда удастся сменить, например, управляющую компанию, но это всего лишь замена одного монополиста другим.

Поэтому, когда рынок сетевых ресурсов называют свободным, то как минимум умышленно забывают заключить это определение в кавычки. В нашем энергетическом законодательстве нет гипотетических ограничений рыночной цены на сетевые энергоресурсы, а процветает исключительно ориентация на критерий роста затрат у производителя (тарифный вариант).

От повышения энергетической эффективности до снижения углеродоемкости

Обратимся опять к мировой практике [2, 3], где обращается внимание на необходимость улучшения конечного использования энергии, управления спросом на энергию. Вызвано это тем, что спектр любых других воздействий на условия поставки и распределение энергии является ограниченным и выражается либо в бесконечном строительстве новых мощностей, либо в оптимизации системы передачи и распределения энергии.

Что касается принципов эффективного конечного использования сетевой энергии, то необходимо устранять неоправданные стимулы по увеличению объемов и цен, так как это приводит к росту тарифов. Кроме того, необходимы обязательные высококачественные схемы энергетического аудита, предназначенные для определения потенциальных мер по повышению энергетической эффективности. Такие энергоаудиты проводятся независимым способом у всех конечных потребителей, включая малые домохозяйства, коммерческие структуры, а также малых и средних промышленных потребителей. Они имеют у нас статус добровольных.

В настоящее время мировая экономика развивается по ряду направлений от повышения энергетической эффективности до снижения ее углеродоемкости. Следует отметить, что эти направления тесно связаны. Минэкономразвития России разработало проект комплексного плана мероприятий по повышению энергетической эффективности экономики РФ. Данный план одновременно направлен на снижение энергоемкости и углеродоемкости экономики Российской Федерации как ключевых факторов экономического роста и устойчивого развития. При этом, по нашему мнению, главная роль в реализации этого плана отводится Минэнерго России, а также возможно появление нового вида деятельности – трансграничное климатическое регулирование [5].

Причины и участники углеродного развития экономики РФ

Углеродоемкость – это отношение объемов выбросов диоксида углерода (CO₂) и объема потребленной энергии за год. На первый взгляд, ответ представляется очевидным, так как количественная оценка углеродного развития определяется содержанием в атмосфере Земли практически одного вещества – CO₂, которое является продуктом горения. Основным продуктом для сжигания – это всевозможное ископаемое топливо; также следует принять во внимание природные пожары, извержения вулканов, гейзеров и т. п. [5, 6], но пока их не учитываем.

Участники углеродоемкой экономики

Главная проблема состоит в том, что 1 кг сгоревшего топлива выбрасывает в атмосферу несколько раз больше килограммов диоксида углерода: каменный уголь – 2,29; кокс – 2,8; природный газ – 1,88; мазут – 3,16; дизельное топливо – 3,12 кг/кг и т. д. У всех видов топлив есть общий показатель – это килограмм условного топлива (кг у. т.) с теплотой сгорания 7 000 ккал. Сгорая, 1 кг у. т. выбрасывает в атмосферу до 3,0 кг диоксида углерода (CO₂). Даже из приведенного сокращенного перечня топлив видно, что управляемую человечеством часть углеродоемкости экономики следует относить не только к энергетикам, подведомственным Минэнерго России. В этом процессе активно участвуют и так называемые конечные потребители, использующие наиболее диоксидные виды топлива: мазут, дизельное топливо, кокс, бензин и др.

Так, еще в 2020 году директор Департамента конкуренции, энергоэффективности и экологии Минэкономразвития России Петр Бобылев отмечал, что без учета структурных особенностей, определяющих углеродоемкость системы энергоснабжения, применение мер углеродного регулирования в отношении экспортеров будет носить заведомо дискриминационный характер и приведет к значительным потерям для экспортноориентированных секторов экономики. Воспользуемся таким показателем, как углеродоемкость электроэнергии в мире. К 2016 году на ее выработку приходится около 42 % глобальных выбросов CO₂, так что на практически «безнадзорного» конечного потребителя (от Минэнерго России, а по вышеприведенному определению и от кого-либо другого) приходится около 60 % углеродоемкости российской экономики, пока относительно не ориентированной на экспорт в сравнении с энергоресурсами.

Масштабы процесса

Россия ежегодно добывает ископаемых топлив до 2 млрд т у. т. Эта масса делится практически поровну: на внутреннее потребление и на продажу за рубеж. В итоге российские «закрома» обеспечивают выброс в атмосферу Земли до 6 млрд т/год диоксида углерода. Потребление топлива в

мире составляет не менее 12 млрд т у. т./год (36 млрд т/год диоксида углерода), то есть наше участие в мировом масштабе (прямое и косвенное) не менее 16 %. Здесь мы тоже впереди всех.

Матрица И. А. Башмакова²

В России безоговорочно принято, что практически единственный источник всех возможных проблем и последствий при использовании топлива по назначению – топливно-энергетический комплекс. Насколько это верно?

Если конечный потребитель экономит, например, 1 т у. т. нефтепродуктов, то суммарная потребность в энергии в ТЭК снизится на 0,14 т у. т., а при учете их транспорта – на 0,16 т у. т. (см. табл.). Самые же высокие косвенные эффекты оказываются у электроэнергии и тепла. Они существенно превышают традиционно пока используемые коэффициенты 2,5–3 для электроэнергии (при эффективности генерации 40 %, потерях при передаче 6–7 %) и 1,25 для тепловой энергии. С учетом всех косвенных эффектов при экономии конечным российским потребителем 1 т у. т. электроэнергии по всей энергетической цепочке экономится не 2,5–3, а 4,7 т у. т. (при учете транспорта – 4,9 т у. т.).

Заключение

Следовательно, экономия единицы энергии именно у конечных потребителей, а не в ТЭК, дает дополнительную экономию по всей энергетической цепочке: снижаются потери в электрических, тепловых и газовых сетях, расходы на транспорт энергоресурсов, их обогащение, переработку и добычу, расходы топлива на выработку электрической и тепловой энергии, расходы электроэнергии на производство этого топлива и т. д. Величина этой косвенной экономии существенна – до 3–5 раз. Если создать условия для конечных потребителей по экономии преобразованных видов энергии (электрическая и тепловая энергия), то практически без участия Минэнерго России будут созданы условия для снижения углеродоемкости электроэнергии и централизованной тепловой энергии. Возможно, в этом основные причины вышеописанного.

Литература

1. В. И. Велькин, Я. М. Щелоков, С. Е. Щеклеин. Возобновляемая энергетика и энергосбережение: учебник. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2020. 312 с.
2. Энергетическое право РФ и Германии: сравнительно-правовое исследование. М.: Издательская группа «Юрист», 2011. 1076 с.
3. Энергетика для завтрашнего мира. Действовать сейчас. Заключение МИРЭС 2000 г. // Электрические станции. 2005. № 2. С. 67–70.
4. Яровой Ю. В. Появилась надежда, что ситуация в теплоснабжении будет меняться в лучшую сторону // Энергосбережение. 2013. № 3. С. 36–40.
5. Щелоков Я. М. Тенденции по снижению углеродоемкости экономики РФ // Промышленность и безопасность. 2021. № 10. С. 42–43.
6. Щелоков Я. М. Ключевая проблема в теплоснабжении России? // Энергосбережение. 2022. № 1. С. 46–49.
7. Башмаков И. Российский ресурс энергоэффективности: масштабы, затраты и выгоды // Вопросы экономики. 2009. № 2. С. 71–89.

TRADITIONAL AND UNCONVENTIONAL ENERGY ORIENTATION

Shchelokov Y.M.¹, Lisienko V.G.², Chesnokov Yu.N.², Lapteva A.V.³

¹Self-regulatory organization "Union" Energy efficiency "

²Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

³Ural State University of Economics

Numerous publications about renewable energy sources (RES) regularly appear in scientific and technical literature and the Internet, which are called unconventional. It was RES that largely contributed to the formation of the energy component of the worldview among mankind as a whole and the emergence of many traditions, some of which remain to this day. Nevertheless, estimates of the potential for widespread use of RES still range from enthusiastic opinions to moderately pessimistic. Let's try to figure out which energy should be focused on and which is traditional.

ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИКИ ОЗЕРА СЕВАН

д.б.н., проф. Габриелян Б.К.¹, д.э.н., проф. Геворкян С.А.¹, д.ф.-м.н., проф. Мкртчян Ф.А.²

¹Научный Центр Зоологии и Гидроэкологии НАН Армении

²Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

В работе предложена структура геоэкологической информационно-моделирующей системы оз. Севан (Армения) с функциями сбалансированного мониторинга и прогнозирования состояния геоэкологической системы, включая диагностику качества водной среды с применением спектрофотометрических измерений в реальном режиме времени. Система построена по блочному типу с использованием набора алгоритмов обработки данных мониторинга, поступающих эпизодически во времени и фрагментарных по пространству (трассовые и точечные наблюдения). ГИМС обеспечивает обработку, сортировку, запоминание и хранение информации, моделирование физико-химических и экологических процессов, оценку текущего состояния геоэкологической системы и расчет последствий при реализации сценария антропогенного воздействия.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

Введение

Озеро Севан - самое крупное озеро на Кавказе и одно из крупнейших пресноводных высокогорных озер мира. До искусственного снижения уровня воды площадь озера составляла 1416 км², максимальная глубина - 84 м средняя – 47 м, объем содержащейся в озере воды был 58.5 км³, а площадь водосборного бассейна - 3475 км². Длина озера была 75 км, средняя ширина – 19 км, максимальная – 37 км.

С постройкой Разданского каскада ГЭС уровень воды в озере в среднем понижался ежегодно с 1949 по 1962 г. на 1 м. В течение двадцатипятилетнего периода было использовано 38 миллиардов кубометров воды, что уменьшило объем озера на 30% с 58.5 до 39.3 млрд. м³. С сокращением площади озера открылись прибрежные части дна, остров Севан на северо-западе озера сомкнулся с берегом, превратившись в полуостров. К концу 1950-х гг. вскрылся ряд факторов, свидетельствующих о несовершенстве первоначального плана по снижению уровня озера. Освободившиеся земли оказались неплодородными, и их освоение не приносило прибыли. Построенные на р. Раздан гидроэлектростанции более не могли удовлетворить нуждам народного хозяйства Армении, было принято решение о развитии в регионе теплоэнергетики, а затем атомной энергетики, в результате мощности Севан-Разданского каскада оказывались невостребованными. Кроме того, в условиях увеличивающегося потребления водных ресурсов озеро Севан оставалось единственным резервным источником пресной воды в республике, тогда как, согласно проведенным расчетам, другие источники к концу XX века могли быть исчерпаны. В тоже время Академией наук Армянской ССР в 1947-1961 гг. были выполнены новые теоретические, экспериментальные и натурные исследования озера. В результате было принято решение о пересмотре проекта по снижению уровня озера. В 1961 г. был опубликован доклад АН Армянской ССР о необходимости прекращения спуска уровня, который к этому периоду успел опуститься на 13.7 м. Поскольку водами только впадающих в о. Севан рек восстановить его прежний запас воды и его уровень было невозможно, было принято решение о постоянном дополнительном сбросе в озеро с юга вод из бассейна р. Арпы по тоннелю длиной 49 км, который необходимо было построить под Варденисским хребтом. Было подсчитано, что в этом варианте максимальный спуск уровня воды составит 18 м. Строительство тоннеля было завершено к 1981 г., после чего была начата переброска в озеро Арпинской воды из водохранилища Кечут. В результате реализации проекта снижение уровня воды озера было временно приостановлено на отметке 1898 м. При этом площадь Малого Севана составляла 328 км², а Большого - 916 км².

В начале 1990-х гг. в Армении разразился энергетический кризис, вызванный остановкой в стране атомной электростанции, для выхода из кризиса пришлось воспользоваться энергоресурсами о. Севан. Поддержание жизни людей обошлось еще в 6.1 миллиардов куб. м воды или в три метра уровня озера, который снизился до 1896.8 м. Экосистема озера Севан снова подверглась опасности. Начиная с 1998 г. вода о. Севан более не используется на энергетические цели. В зимний период 1998-1999 гг. удалось накопить значительное количество ресурсов для Севано-Разданского каскада, что позволило более не использовать озерную воду для нужд энергосистемы. К началу 2000-х гг. уровень воды оз. Севан стабилизировался на уровне 20 м ниже исходного, и, благодаря введению политики рационального водопользования, направленной на восстановление экологического баланса о. Севан, начал постепенно повышаться. С 2002 г. наблюдается рост уровня озера, составляющий от 25 до 45 см в год. Было принято решение сначала поднять уровень на 3 м, после чего провести дополнительные исследования. В соответствии с планом к 2031 году уровень озера должен вырасти до 1903.5 м.

Начиная с 2003 г. финансовую поддержку социальных программ в Армении, а также программы по восстановлению о. Севан оказывают Глобальный Экологический Фонд и Мировой Банк. Согласно плану по восстановлению озера в течение 30 лет его уровень должен быть повышен на 6.5 метров и достигнет значения, наблюдавшегося в 1957 г. Подъем уровня уже начался и достаточно быстрыми темпами. Однако, при быстром повышении уровня остается проблема дополнительного биогенного загрязнения озера за счет залива земель, которые к настоящему времени находятся под искусственным лесом. В этой связи проводятся работы по расчистке от леса заливаемых земель, однако уже сейчас ясно, что их темпы оказываются недостаточными. Кроме сведения леса необходим также демонтаж зданий, построенных в последние десятилетия на территории, которую ранее занимало озеро.

ГИМС-технология позволяет рассмотреть принципиально новый подход к организации оперативного мониторинга качества воды в о. Севан [1,2].

ГИМС-технология в мониторинге экосистемы озера Севан

Как было отмечено выше, геоэкосистема озера Севан относится к сложным объектам, имеющих огромное хозяйственное значение и мониторинг которых необходим не только для оценки их текущего состояния, но и для прогнозирования динамики развития всей совокупности процессов в зоне их влияния. Это важно в условиях, когда процесс деградации региональной социально-экологической системы развивается, и нет данных о сокращении потоков загрязняющих веществ в воды о. Севан. Поэтому проблема синтеза системы геоинформационного мониторинга региона о. Севан требует решения огромного спектра задач, входящих в компетенцию многих областей знания. Комплексный характер этой проблемы обусловлен совокупностью разнородных и разноплановых теоретических и прикладных исследований, которые ведутся в рамках многих программ исследования окружающей среды. Основная цель всех подобных исследований состоит в ответе на единственный базовый вопрос: какой должна быть структура и режим работы системы наблюдения за элементами окружающей среды Севанского региона, чтобы обеспечивались надежные оценки ее текущего состояния и прогноз ее развития на ближайшее и перспективное будущее. Реализация этой цели возможна путем адаптации ГИМС-технологии к условиям мониторинга Севанского региона. Принципиальная схема ГИМС-технологии применительно к данной проблеме представлена на рис.1, а процедура адаптации указана на рис. 2.

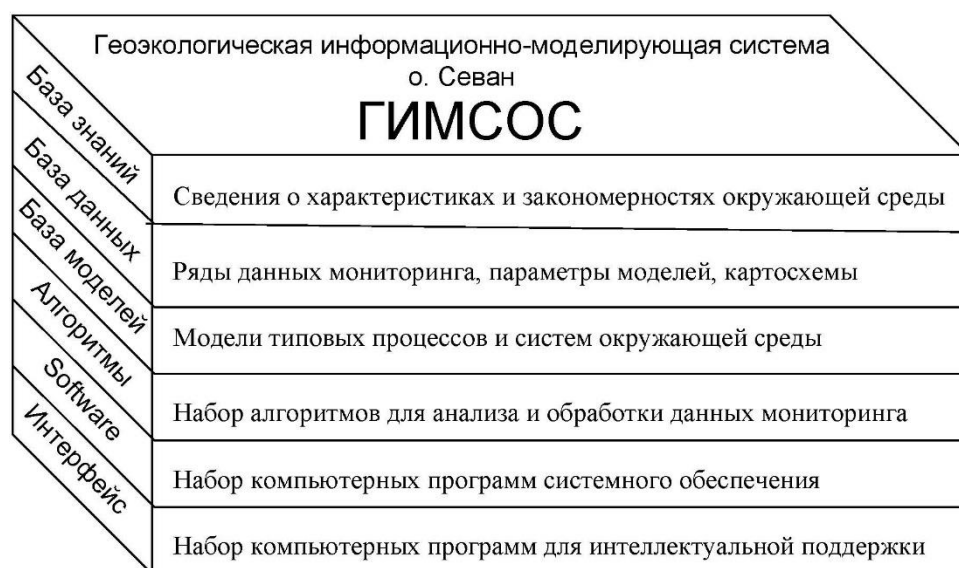


Рис. 1. Архитектура геоэкологической информационно-моделирующей системы озера Севан (ГИМСОС.).

Состояние аквагеосистемы о. Севан характеризуется большим разнообразием параметров, определяющих динамику функционирования не только непосредственно экосистемы озера, но и прилегающих территорий. Среди них, такие как характеризующие тип почвы и растительности, водный режим территории, солевой состав почво-грунтов, уровень залегания грунтовых вод, структура расположения антропогенных объектов и многие другие. В принципе, требуемая информация об указанных параметрах может быть получена с различной степенью достоверности и производительности из данных наземных наблюдений, дистанционных измерений и из банков данных

географических информационных систем (ГИС), где содержится априорная информация, накопленная в прошлые годы.

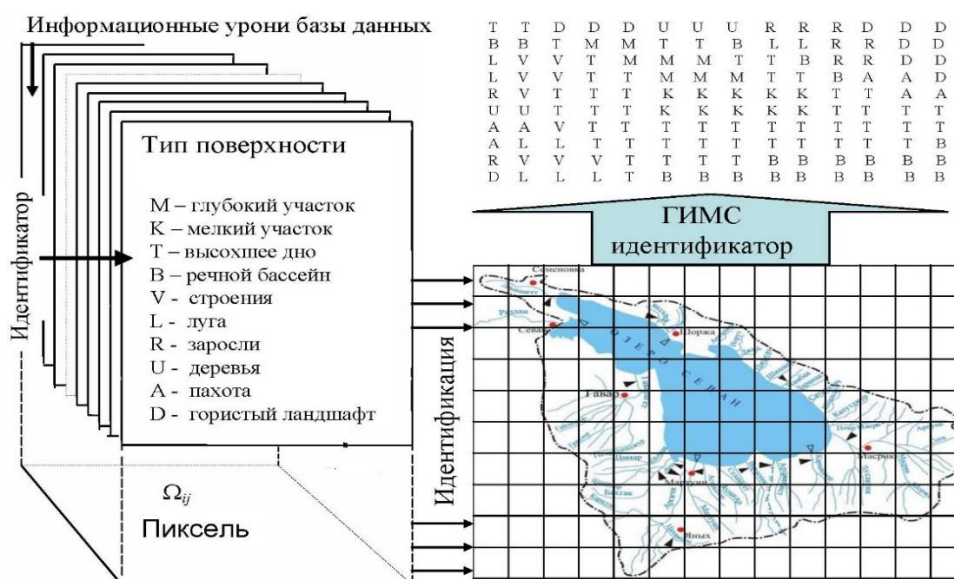


Рис. 2. Информационные уровни базы данных ГИМСОС и схема их картографической идентификации.

Проблема, возникающая перед лицом, ответственным за принятие соответствующего решения, заключается в получении ответов на следующие вопросы:

- (1) какие приборы целесообразно использовать для проведения наземных и дистанционных измерений в регионе о. Севан?
- (2) какие финансовые средства выделить для проведения наземных и дистанционных измерений?
- (3) как сбалансировать количество наземных измерений и объем дистанционных данных с учетом их информационного содержания и стоимости?
- (4) какие математические модели пространственно-временных изменений параметров в зоне влияния озера Севан целесообразно использовать для интерполяции и экстраполяции данных контактных и дистанционных наблюдений с целью уменьшения объема (количества) последних и, соответственно, уменьшения стоимости работы в целом, а также для получения прогноза функционирования наблюдаемого объекта?

ГИМС - технология позволяет ответить на поставленные вопросы путем адаптации ее функций к предистории функционирования объекта мониторинга. С этой целью на территории аквагеосистемы озера Севан выделяются пространственные пиксели Ω_{ij} ($\varphi_i < \varphi \leq \varphi_{i+1}$; $\lambda_j < \lambda \leq \lambda_{j+1}$), где φ и λ географические широта и долгота соответственно. Размеры пикселей на начальном этапе организации мониторинга выбираются исходя из имеющихся архивных данных. В дальнейшем эти размеры могут быть уточнены с учетом результатов эксплуатации ГИМСОС. Основной принцип функционирования ГИМСОС охарактеризован на схеме рис. 2. Одним из базовых блоков ГИМСОС является имитационная модель динамики загрязнений в озере Севан (ИМДЗОС), принципиальная схема которой представлена на рис. 3.

Имитационная модель динамики загрязнений в озере Севан (ИМДЗОС)

Функционирование ИМДЗОС может поддерживаться глобальной биосферной и климатической моделями [5], на выходе которых могут быть получены температура и возможно другие характеристики окружающей среды Севанского региона (рис. 3). Здесь существует несколько вариантов использования этих данных. Пользователь выбирает, ориентируясь на собственный опыт, использовать ли выходные данные климатической модели в полном объеме, заменив ими данные, рассчитываемые в глобальной модели, или ограничиться некоторыми из них. В случае отсутствия климатической модели пользователь формирует сценарий климатической ситуации и подключает его к ИМДЗОС.

Входными для ИМДЗОС являются данные об источниках загрязнителей на суше в прибрежной зоне озера Севан, климатические данные и карты течений. Источниками этой информации являются прогнозные оценки на основе многолетних рядов данных контактных и дистанционных измерений. Наиболее сконцентрированным и полным источником данных об озере Севан и прилегающих

территориях являются базы данных ИКС ЭМ (Инфо-коммуникационная система экологического мониторинга).

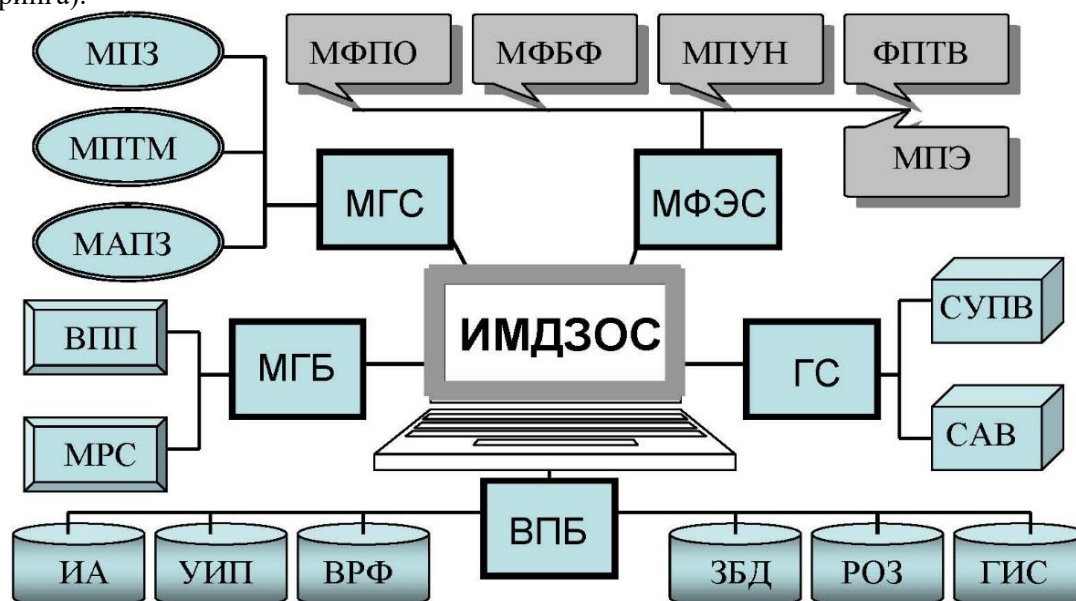


Рис. 3. Блок-схема ИМДЗОС. Обозначения даны в табл. 1.

Таблица 1. Перечень блоков ИМДЗОС и их функции.

Блок	Описание блока
САВ	Сценарии антропогенного воздействия на экосистему озера Севан.
МАПЗ	Модель атмосферного переноса загрязнений.
МФЭС	Модель функционирования экосистемы озера Севан.
УИП	Управление информационными потоками между блоками ИМДЗОС и базой данных
МГС	Модель гидрохимии озера Севан.
МГБ	Модель гидрологии бассейна озера Севан.
МПТМ	Модель поступления тяжелых металлов в пищевые цепи экосистемы.
МФПО	Модель формирования поля освещенности.
МФБФ	Модель формирования биогенного фона.
МПУН	Модель поступления углеводородов нефти в пищевые цепи.
ИА	Идентификация и адаптация ИМДЗОС
МРС	Модель речного стока в бассейн озера Севан.
ГС	Генератор сценариев.
МПЗ	Модель поступления загрязнений в озеро Севан.
МПЭ	Модель потоков энергии в трофической пирамиде экосистемы озера Севан.
ФПТВ	Формирование поля температуры воды.
ВПБ	Вспомогательные программные блоки.
ВРФ	Визуализация результатов функционирования ИМДЗОС
ВПП	Восприятие прогнозов погоды
ЗБД	Занесение в базу данных результатов эпизодических измерений качества воды.
РОЗ	Решение обратной задачи спектроэллипсометрии
ГИС	ГИС зоны влияния на озеро Севан.
СУПВ	Сценарии управления потоками воды в зоне озера Севан

Базовой функцией ИМДЗОС является расчет пространственного распределения конкретного загрязнителя на основе многоканальных данных мониторинга с учетом особенностей режимов их поступления и реакции экосистемы. В ряде работ предложена принципиально новая технология диагностики водной среды, позволяющая в режиме on-line оценивать содержание различных химических элементов в водной среде. Применение этой технологии в гидрохимическом мониторинге озера Севан позволит значительно повысить достоверность оценки качества воды и значительно снизит экономические затраты на мониторинг. Эта технология основана на спектральном анализе с использованием радиометрических и оптических сенсоров [3,4,6,7]. Применение радиометров микроволнового диапазона с их размещением на беспилотных летающих носителях и использование

алгоритмов восстановления двумерных изображений по трассовым измерениям создает условия для оперативного обнаружения пятен нефтепродуктов и других образований негативного характера на поверхности озера. Использование спектральных оптических измерений с применением обучаемых спектрофотометрических и спектроэллипсометрических систем позволяет исключить использование химических лабораторий и значительно сократить время принятия решения о качестве водной среды. В главе 3 представлены образцы таких систем.

Выводы и заключение

Проведение измерений характеристик водного объекта требует больших экономических затрат. Поэтому задача оптимизации натурных измерений является не только важной с научной точки зрения, но и с экономических позиций. Проведенные в данной работе расчеты по оценке предложенных алгоритмов и имитационной модели позволяют сделать вывод о том, что ИМСЛНН с достаточной точностью обеспечивает восстановление пространственного распределения по акватории гидрофизического объекта его характеристик, основываясь на эпизодических измерениях *in-situ*.

Рассмотренная акватория озера Севан может служить типовым эталоном мезомасштабного гидрофизического объекта. Если в базе данных и базе знаний ИМСЛНН регулярно обновлять информацию об этих процессах, то проведение измерений на территории самого Озера требуется проводить в режиме дискретного мониторинга только для оценки невязки между прогнозом и реальным состоянием экосистемы озера.

Литература

1. Каевицер В.И., Крапивин В.Ф., Мкртчян Ф.А., Климов В.В. Экспертная система для идентификации загрязнителей водной среды. // Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2013, т. 146, №9, с. 75-81.
2. Крапивин В.Ф., Мкртчян Ф.А., Геворгян С.А. Диагностика гидрохимической системы озера Севан с помощью ГИМС-технологии // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2017, №2, с. 3-12.
3. Крапивин В.Ф., Мкртчян Ф.А., Шутко А.М. ГИМС-технология и мобильные исследовательские платформы дистанционного зондирования // Экологические системы и приборы, №1, 2015, с. 10-17.
4. Крапивин В.Ф., Мкртчян Ф.А., Потапов И.И. Адаптивная система спектральной идентификации жидких растворов: технология // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2016, №6, с. 112-121.
5. Крапивин В.Ф., Потапов И.И. Методы экоинформатики.- М.: ВИНТИ.-2002.- 496 с.
6. Mkrtchyan F.A., Krapivin V.F., Klimov V.V. The Possibilities of using LED photometry and ellipsometry technology for monitoring the aquatic environment. Proceedings of the Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2019), Rome, Italy, 17–20 June, 2019, pp.908-914.
7. Varotsos C.A., Krapivin V.F. and Mkrtchyan F.A.. New optical tools for the water quality diagnostics. Water, Air, & Soil Pollution, 2019, 230: 177.

FEATURES OF DIAGNOSTICS OF LAKE SEVAN

Gabrielyan B.K.¹, Gevorgyan S.A.¹, Mkrtchyan F.A.²

¹Scientific Center of Zoology and Hydroecology of the National Academy of Sciences of Armenia

²Fryazino branch of the Institute of Radio Engineering and Electronics named after V.A. Kotelnikov RAS

The paper proposes the structure of the geoecological information-modeling system of the lake. Sevan (Armenia) with the functions of balanced monitoring and forecasting the state of the geoecosystem, including diagnostics of the quality of the aquatic environment using spectrophotometric measurements in real time. The system is built on a block type using a set of algorithms for processing monitoring data that arrive episodically in time and fragmented in space (track and point observations). GIMS provides processing, sorting, memorization and storage of information, modeling of physical, chemical and environmental processes, assessment of the current state of the geoecosystem and calculation of consequences in the implementation of the scenario of anthropogenic impact

The work was carried out within the framework of the State Assignment of the Kotelnikov IRE RAS.

ADVANCED ALGORITHM OF PRIVACY PRESERVING DATA MINING

Le Thanh, Nguyen Quang Tan

Van Hien University, 624 Au Co, HCMC, Vietnam

Exploring the hidden knowledge in today's databases is a common goal in the field of data mining, which has attracted significant attention from researchers. However, data often contains sensitive information, and ensuring privacy preservation in association rule mining to avoid disclosing sensitive data is a crucial research direction nowadays. Privacy preservation in association rule mining focuses on preventing the appearance of association rules that contain sensitive data in the mining results. In this paper, we investigate the improvement of privacy preservation algorithms in association rule mining, aiming to maximize the concealment of rules containing sensitive data and minimize the generation of side effects.

Keywords - association rules, data mining, databases, privacy preservation

1. Introduction

Association rule mining is one of the methods in data mining. This method analyzes data in a database to discover and present relationships between data values. The purpose of association rule mining is to find interesting associations or correlations within a large set of items.

In commercial transactions, discovering relationships among many transaction records can help businesses effectively handle and address issues. An important application of association rules is market analysis, which involves analyzing customers' purchasing habits to find associations between different items in their shopping carts. For example, based on multiple shopping instances at a supermarket, if a customer buys laundry detergent, they are likely to purchase fabric softener as well. Such information helps retailers arrange the placement of these items on the shelves. Retailers can place frequently co-purchased items close to each other to positively influence customers' buying decisions for these items. Recognizing frequently co-purchased items enables retailers to sell more products, leading to increased revenue.

However, data sharing can inadvertently lead to the disclosure of sensitive user information, causing harm to individuals and organizations. A common issue arises when providing data to knowledge mining centers, where some entities or individuals do not want to disclose rules that may affect their privacy. For instance, if X represents a set of items related to the Samsung phone brand and Y represents a set of items related to Samsung phone battery explosions, revealing the correlation between X and Y would bring disadvantages to the Samsung phone business. Association rules $X \rightarrow Y$, as described above, are considered sensitive association rules. As a result, the data provider needs to eliminate these sensitive association rules from the list to be provided, which is known as hiding sensitive association rules.

In this research report, we study the privacy-preserving algorithm in association rule mining. With the requirement to maximize data privacy, which means not disclosing association rules containing sensitive data obtained from analyzing these data, we aim to ensure the privacy preservation of the data."

2. Related works

There have been numerous studies on privacy-preserving data mining, particularly in centralized databases. In [3], the authors utilized the concept of lattice theory to conceal sensitive data items, ensuring that these sensitive data do not appear in the frequent itemset after mining. This research also demonstrated the minimization of side effects that can generate unwanted rules and eliminate undesired itemset. However, this study only focused on concealing sensitive data during the mining of frequent itemset.

For distributed databases, several research groups have explored privacy-preserving data mining approaches. In [2], the authors proposed a privacy-preserving mining method for distributed databases using encryption techniques with public keys and data mixing among participating parties to ensure that party n cannot discover the data of party i among the previous $n-1$ parties. The authors in the study [3] also suggested using lattice theory to hide sensitive itemset, providing a method to conceal sensitive item sets and mitigate side effects. In the research [6], the authors proposed a privacy-preserving mining model for horizontally distributed databases, protecting the privacy of participating mining parties. In this paper, the authors proposed the use of the RSA encryption algorithm to conceal sensitive data items during data exchange between participating parties.

3. Development Algorithm

An association rule has the form $A \rightarrow B$ where A is called the left hand side and B is called the right hand side. Support and confidence need to be calculated, the support of data item AB is the number of transactions with A and B in the total number of transactions. Data item AB is regular if its support is greater than or equal to the minimum support MST, the support is calculated as follows:

Support ($A \rightarrow B$) = $|A \cup B| / |D|$, where $|D|$ are all transactions contained in the database.

The reliability of item sets A and B is calculated according to the following formula:

Confidence ($A \rightarrow B$) = $|A \cup B| / |A|$, where $|A \cup B|$ is the number of transactions in database D that contain both A and B and $|A|$ is the number of transactions that contain A.

Thus, to hide rule $A \rightarrow B$, it can be done by reducing the support of data items A and B to less than MST (minimum support) or reducing the confidence of items A and B less than MCT (minimum confidence).

In [1], author Nidhi Bhatt and colleagues proposed an 8-step Hybrid ISL & DSR algorithm with the aim of hiding association rule sets containing sensitive data item h. The algorithm is performed on the database D consisting of N transactions and M entries, with the minimum support threshold MST and minimum confidence MCT, h is the sensitive data item to be hidden, U is the set of outcome rules. case containing sensitive items h. The objective is to fit database D to D' such that no association rule containing sensitive data item h exists in D'. For this purpose, the main idea of the algorithm is:

For each association rule in the set U of the form $X \rightarrow Y$ containing the data item h on the right hand side, if the confidence of the rule is less than the minimum confidence MCT, then consider the rule with the next 2 data items. On the contrary, the support of item h will be reduced by: finding the set of transactions $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ in D satisfying the condition that the transaction is completely supported by U. Select the transaction, the first t_1 in the transaction set T, adjust t_1 by replacing the value 1 with the value 0 for locations with data item h. Repeat this step until all transactions in T are exhausted.

For each association rule in the set U of the form $X \rightarrow Y$ containing item h in the left hand side, increase the support of this rule by: Find the transaction set $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ with in D satisfy the condition that the transaction does not support U., select the first transaction t_i in the transaction set T, adjust t_i by replacing the value 0 with the value 1 for locations with item h, repeat for to the end of episode T.

Through our research, we found that the Hybrid ISL & DSR algorithm has hidden sensitive items on both the left and right sides of some rules of the form $X \rightarrow Y$. However, the algorithm still has some disadvantages as follows:

The algorithm hides only a very small number of rules of the form $X \rightarrow Y$ where X and Y have only 1 element.

While increasing the support of the left-hand side, the algorithm reuses the original database D to find the transaction, which leads to a long execution time.

When proceeding to increase the confidence of sensitive rules, the algorithm has not conducted a reliability check of the rule after adjusting the transaction, leading to having to browse the database many times.

While increasing the support of the left-hand side, the algorithm has not sorted the transactions T in ascending order of the number of data items, which causes the phenomenon of margin effect as a new rule to arise.

From this study, we propose an improved algorithm consisting of 6 steps as follows:

Step 1: Find the rule set U containing association rules and the confidence of the rules obtained from D containing Item h.

Step 2: For each association rule in the rule set U containing item h on the right-hand side (RHS), if the confidence of the rule U is less than the minimum confidence MCT, then consider the next rule. Otherwise, the support of item h will be reduced.

Step 3: Reduce the support of item h in the rules where h is on the right-hand side as follows: (a) Find the set of transactions $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ in D satisfying the intersection condition. transaction t fully supports U. (b) When T is not empty, select the first transaction t in the transaction set T, modifying t by substituting 0 for the 1 positions of item h. (c) Save and delete t from T, repeat step 4 until the end of the set T. Recalculate the confidence of U, if T is empty or the confidence of the rule U is greater than or equal to f, then item h cannot hide, restore D, and consider the next rule.

Step 4: For each association rule in the set U (of form $X \rightarrow Y$) containing item h in the left hand side (Left Hand Side - LHS), calculate the reliability of the rule set U on database D in step 4, if the confidence of the rule U is less than minConf, then consider the next rule. Conversely, increase the support of item h.

Step 5: Increase the support: (a) Find the set of transactions $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ in D satisfying the condition that the transaction t does not support U . (b) Sort the set of transactions T increases with the number of items in the transaction (c) When T is not empty and the confidence level of U is greater than or equal to MCT , select the first transaction t in the transaction set T , adjust t by replacing 1 for locations with item h . (d) Recalculate the confidence of U . Save and delete t from T , repeat step 6. If T is empty or the confidence of U is greater than or equal to MCT , the U -rule cannot be hidden, restore the database nearest D and consider the next rule.

Step 6: Update D to D' again.

4. Experimental development model

To perform the steps of the algorithm, let's assume we have a sample transactional database D , as shown in Table I.

Table I
DATABASE D IN BINARY

Tid	ABC
T1	111
T2	111
T3	111
T4	110
T5	100
T6	101

Assuming: $MST = 10\%$, $MCT = 70\%$, and the item to be hidden is C .

By applying the Apriori algorithm on database D , we obtain the frequent itemset and their support as shown in Table II.

From Table II, we derive the rules and their confidence for the rules containing C , as presented in Table III. The confidence of a rule is calculated using the formula $\text{Conf}(X \rightarrow Y) = \text{Supp}(XUY) / \text{Supp}(X)$.

We identify the rules with item C on both the left-hand side and the right-hand side. We have the following: On the left-hand side: $C \rightarrow A$, $C \rightarrow B$, $BC \rightarrow A$, $AC \rightarrow B$, $C \rightarrow AB$. On the right-hand side: $A \rightarrow C$, $B \rightarrow C$, $AB \rightarrow C$, $A \rightarrow BC$, $B \rightarrow AC$.

Table II
FREQUENT ITEMSET AND SUPPORT

Item	Supp
A	6
B	4
C	3
AB	4
AC	4
BC	3
ABC	3

Table III
COMBINATION RULE AND RELIABILITY

Combination	Reliability
$A \rightarrow C$	66.6%
$B \rightarrow C$	75%
$C \rightarrow A$	100%
$C \rightarrow B$	75%
$AB \rightarrow C$	75%
$BC \rightarrow A$	100%
$AC \rightarrow B$	100%
$C \rightarrow AB$	100%
$A \rightarrow BC$	50%
$B \rightarrow AC$	75%

According to the algorithm, first, we hide the rules with item C on the right-hand side, and then we hide the rules with C on the left-hand side. We apply step 3: for each combined rule containing item C on the right-hand side, if the rule's confidence is smaller than MCT , we consider the next rule.

Let's consider the rule $A \rightarrow C$: this rule has a confidence of $66.6\% < MCT$, so we move on to the next rule. Now, let's consider rule $B \rightarrow C$: this rule has a confidence of $75\% > MCT$, so we proceed with reducing its confidence. Following the algorithm, we reduce the confidence of $B \rightarrow C$. We search for the set of transactions T in D that fully support this rule and have $B=C=1$. Let $T = (t_1, t_2, t_3)$. We choose transaction t_1 and modify it so that it no longer supports B by replacing 1s with 0s in the positions where item B is present. We save this modification and continue with t_2 and t_3 .

After running through the set T, we obtain the resulting database table as shown in Table IV.

Table IV
DATABASE D AFTER RELIABILITY

Tid	ABC
T1	110
T2	110
T3	110
T4	110
T5	100
T6	101

Verification: Recalculating the confidence of the rule $B \rightarrow C$, we observe: $\text{Conf}(B \rightarrow C) = \text{Supp}(B \rightarrow C) = 0/0 = 0\% < \text{MCT} (75\%)$

Thus, the rule $B \rightarrow C$ has been successfully hidden. We continue the process with all rules containing C on the right-hand side.

Applying step 5 of the improved algorithm, for each rule containing item C on the left-hand side, we recalculate the confidence. If the confidence of the rule is smaller than MCT (75%), we consider the next rule; otherwise, we proceed with hiding the rule. Let's examine the rule $C \rightarrow A$: $\text{Conf}(C \rightarrow A) = \text{Supp}(C \rightarrow A) = 1/1 = 100\% > \text{MCT} (75\%)$

Applying step 6 of the algorithm: increasing the support of $C \rightarrow A$. We search for the set of transactions T in D that do not support this rule. Let $T = (t_1, t_2, t_3, t_4, t_5)$. We choose transaction t_1 and modify it so that it fully supports $C \rightarrow A$. We recalculate the confidence of the rule $C \rightarrow A$, and if $\text{conf}(C \rightarrow A)$ is smaller than MCT (75%), we stop. We save this modification and continue with the remaining transactions. After running through the set T, we obtain the resulting database table as shown in Table V.

Table V
DATABASE D AFTER INCREASE RELIABILITY

Tid	ABC
T1	111
T2	111
T3	111
T4	111
T5	101
T6	101

Verification: Checking the confidence of the rule $C \rightarrow A$, we observe:

$$\text{Conf}(C \rightarrow A) = \text{Supp}(CA) / \text{Supp}(C) = 6/7 = 100\% > \text{MinConf} (75\%)$$

Therefore, we cannot hide the rule $C \rightarrow A$ as it does not satisfy the requirement of being smaller than or equal to MinConf (75%). Hence, we restore the nearest database D. As for the remaining rules, since their confidence is lower than the minimum confidence, we do not need to further consider them. Finally, we obtain the modified database D' as shown in Table VI.

Table VI
DATABASE D'

Tid	ABC
T1	110
T2	110
T3	110
T4	110
T5	100
T6	101

From Table VI, we can verify the correctness of the algorithm and assess the effectiveness of hiding sensitive related association rules while also examining the side effects of the algorithm on the database.

By extracting the combined rules from the modified database D' in Table VI, we observe that almost all rules containing the sensitive item set C on both sides have been hidden. In other words, these rules cannot be extracted from database D'. However, the $C \rightarrow A$ rule cannot be hidden because we attempted to increase the support of the left side but still failed to satisfy the condition of being smaller than the minimum confidence threshold MCT (75%). Additionally, the improved algorithm demonstrates that there are no loss effects since no desired rules are lost and no undesired rules are generated.

When comparing the Hybrid ISL & DRS algorithm and the improved algorithm conducted on the same example database D, we notice that the proposed algorithm requires fewer data modifications. As shown in

Table VII, the underlined positions indicate the modified data. Thus, we can see that the Hybrid ISL & DRS algorithm requires 5 data modifications, while the improved algorithm requires only 3 data modifications.

Table VII
NUMBER OF CORRECTIONS OF DATABASE OF 2 ALGORITHMS

Tid	D	Hybrid ISL & DSR	Advanced
<u>T1</u>	111	110	110
<u>T2</u>	111	110	110
<u>T3</u>	111	110	110
<u>T4</u>	110	111	110
<u>T5</u>	100	101	100
<u>T6</u>	101	101	101

When comparing the confidence of combined rules containing C that were hidden in Table VIII, we also observe that the improved algorithm achieved better confidence reduction compared to the Hybrid ISL&DSR algorithm. Additionally, the improved algorithm was able to hide additional rules containing C, such as $BC \rightarrow A$, $AB \rightarrow C$, $AC \rightarrow B$, $C \rightarrow AB$, $A \rightarrow BC$, and $B \rightarrow AC$, compared to the Hybrid ISL&DSR algorithm.

Table VIII
COMPARISON THE RELIABILITY OF 2 ALGORITHMS

Rules	Reliability has not	Hybrid ISL & DSR	Advanced Algorithm
$A \rightarrow C$	66.6%	50%	16.6%
$B \rightarrow C$	75%	25%	0%
$C \rightarrow A$	100%	100%	100%
$C \rightarrow B$	75%	33.3%	0%
$AB \rightarrow C$	75%	75%	0%
$BC \rightarrow A$	100%	100%	0%
$AC \rightarrow B$	100%	100%	0%
$C \rightarrow AB$	100%	100%	0%
$A \rightarrow BC$	50%	50%	0%
$B \rightarrow AC$	75%	75%	0%

The experimental results comparing the number of hidden rules of the two algorithms are stored in Table IX and Figure 1.

TABLE IX
COMPARISON THE NUMBER OF HIDDEN RULES OF 2 ALGORITHMS

	Mushroom		Chess	
MCT (%)	Hybrid ISL & DSR	Advanced Algorithm	Hybrid ISL & DSR	Advanced Algorithm
40	130	145	90	102
50	79	93	81	90
60	43	49	44	50
70	41	45	29	33

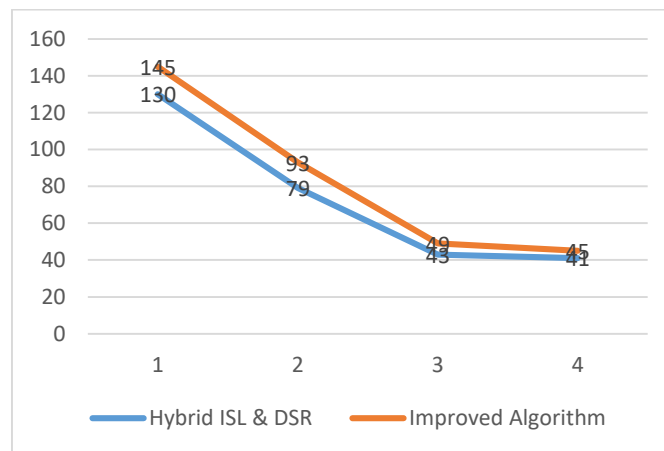


Figure 1. Compare the number of hidden rules on the Mushroom database.

5. Conclusion

The paper has improved the privacy-preserving association rule mining algorithm from the Hybrid ISL & DSR algorithm in [1] towards a new algorithm that hides more association rules containing sensitive item sets, reducing Margin effect when not generating new rules and not losing rules that don't need to be hidden. In addition, the proposed algorithm also shows that the number of times to browse and change the database is less than that of the original algorithm.

However, these statements have not been proven theoretically, but only based on experimental results on the same data of the two algorithms. In the coming time, we will study the implementation direction and experiment on the original algorithm to compare the execution time of the two algorithms.

References

1. Nidhi Bhatt, Mitesh Patel, *Updated Hybrid ISL and DSR based technique for protecting sensitive information*, International Journal of Innovative Research in Technology, Volume 2, Issue 6, (2015), pp.43-47.
2. Weiwei Fang, Changsheng Zhou, Bingru Yang, *Privacy preserving linear regression modeling of distributed databases*, optimization letters, Volume 7, Issue 4, (2013), pp 807-818.
3. Nguyễn Xuân Huy, Lê Quốc Hải, Nguyễn Gia Như, Cao Tùng Anh, Bùi Đức Minh, *Lý thuyết giấu và ứng dụng trong thuật toán ẩn tập mục nhạy cảm*, Hội thảo Quốc gia "Một số vấn đề chọn lọc của CNTT và truyền thông", Đồng Nai, 5-6 Tháng 8, (2009), pp.160-167.
4. Gehad Ahmed Sultan Abd El Aleem, Laila Abd_Ellatif, Ahmed Sharaf, *Association Rules Hiding for Privacy Preserving Data Mining: A Survey*, International Journal of Computer Applications, Volume 150, (2016), pp.34-43.
5. Xinjun Qi and Mingkui Zong, *An Overview of Privacy Preserving Data Mining*, Procedia Environmental Sciences 12 (2012), pp.1341-1347.
6. N V Muthu Lakshmi, Dr. K Sandhya Rani, *Privacy Preserving Association Rule Mining in Horizontally Partitioned Databases Using Cryptography Techniques*, International Journal of Computer Science and Information Technologies, Vol. 3 (1), (2012), pp.3176 - 3182.

ИНЖИНИРИНГ БИОСФЕРЫ: ПРИНЦИПЫ, КРИТЕРИИ, ТЕХНОЛОГИИ

д.т.н., вед.н.с. Маркелов Д.А.¹, н.с. Алешко-Ожевская О.С.¹, д.т.н., проф., ген.дир. Акользин А.П.¹,
к.г.н, доц. Григорьева М.А.², д.г.н., проф., вед. н.с. Минеева Н.Я.¹

¹ ООО «КАРТЭК», РФ, 119071 г. Москва, Ленинский проспект, д.29, стр.2 Бурятский
государственный университет им. Доржи Банзарова, РФ 670000 г. Улан-Удэ, ул. Смолина, д.24 «а»

Инжиниринг биосферы это по сути географическая индустрия – сфера деятельности на Земле на основе взаимосвязанности природных процессов и явлений. Развиваемая географическая индустрия реализована в технологиях и проектах, опробованных и верифицированных в зональном спектре ландшафтов на примерах различных видов природопользования: городских поселений, особо охраняемых природных территорий, природных котловин, промышленных регионов, обезвреживание радиоактивных отходов, воздействие нефтяных разливов. Главные критерии – это жизненные стратегии популяций, главные принципы – биоиндикация и биоиндикаторы, главные критерии – биогеоценотические барьеры как формы адаптационного синдрома и биодоочистки.

Геоэкологическое состояние территории является функцией ее геоэкологической структуры, любые вещества, поступившие в природные системы, становятся их частью, вовлекаются в круговорот и подчиняются законам природы.

Геоэкологический стандарт – это типовое геоэкологическое состояние и типовые уровни химических, радиационных и других параметров в соответствии с типичными ландшафтно-зональными условиями.

Индустрия (лат. industria — деятельность, усердие) — сфера деятельности. Географическая индустрия – это сфера деятельности на Земле на основе взаимосвязанности природных процессов и явлений.

Географическая индустрия реализована в технологиях и проектах, опробованных и верифицированных в зональном спектре ландшафтов на примерах различных видов природопользования: территории государства, городских поселений, особо охраняемых природных территорий, природных котловин, промышленных регионов, обезвреживание радиоактивных отходов, воздействие нефтяных разливов.

Главное достижение и основа созданной географической индустрии – это банк данных, включающий фундаментальные базы данных, уникальные ГИС, уникальные технологии алгоритмизации взаимосвязей природных процессов и явлений, реальные сценарии управления. Географическая индустрия построена на одном основополагающем принципе: взаимосвязанность природных процессов проявляется в физиономичной пространственной организационно-структурной форме слагаемых геосистем территории, распознаваемой методами биоиндикации, разработанными на основе сопряженных баз данных.

Технические решения состоят в создании интегрированного аппаратно-программного комплекса, организованного по модульному принципу, объединенному на единой базе данных с единой системой ввода, хранения и представления информации.

Технологии и проекты географической индустрии включают такие понятия, как: жизненные стратегии популяций, геоэкологическая безопасность, биоиндикация, биодоочистка и реабилитация территорий, биогеоценотический барьер, — и построены на основе «экологии живых систем». Технологии и проекты географической индустрии представлены на сайте: <http://geoecostd.com/ru/> [1]. ГИС технологии обеспечения геоэкологической безопасности территории в системе природопользования включают технологический регламент, ГИС обеспечение, аппаратно-программные комплексы сбора информации, ввода, хранения, обработки и представления информации (рис. 1).



Рисунок 1 - Технологический регламент ГИС обеспечения геоэкологической безопасности территории

ГИС технологии организованы по модульному принципу на единой платформе ввода, хранения, обработки и представления данных, открыты для обновления, актуализации и модернизации составляющих блоков. Каждый модуль функционирует автономно в режиме реального времени, представляя инструментальное средство (прибор) контроля геоэкологической безопасности и управления территорией (рис. 2-7).



Рисунок 2. Инструментальное средство Модуль ГИС «Оценка геоэкологической структуры территории»



Рисунок 3 Инструментальное средство: Модуль ГИС «Оценка геодинамической и функциональной структуры территории»



Рисунок 4. Инструментальное средство: Модуль ГИС «Распознавание радиобиобарьерной структуры территории»

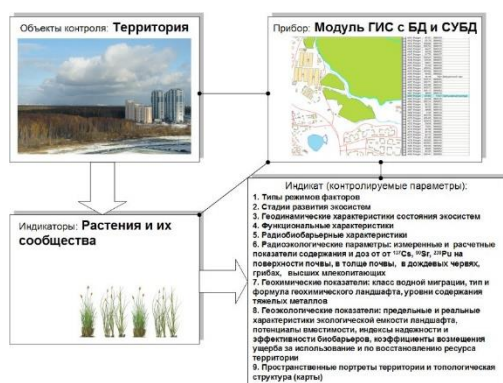
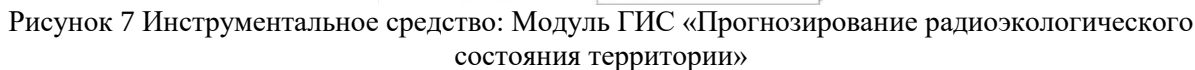


Рисунок 5 Инструментальное средство: Модуль ГИС «Распознавание геоэкологического стандарта территории»



Рисунок 6 Инструментальное средство: Модуль ГИС «Распознавание радиоэкологического стандарта территории»



Геоэкологический стандарт территории Москвы включает ЦМР, которая представляет собой матрицу высотных отметок в узлах регулярной сетки. По модели построены объемные изображения территории, на которые наложены тематические слои атрибутивных характеристик не санкционированных свалок (Постановление Правительства Москвы от 03.05.2005 N 313-ПП). Выделены следующие категории свалок: 1) очаговые, 2) насыпные грунты, грунты со строительными отходами, строительный грунт, строительный мусор, обломки ЖБИ, смет с улиц, асфальтовый скол, 3) бытовые отходы и ТБО, 4) гаражи-ракушки, автокузова, металлические конструкции, металлолом, 5) брошенные гаражи, 6) древесные отходы, порубочные остатки, 7) промышленные отходы, отходы авто транспорта, отходы металлопроизводства, 8) зола, шлаки, 9) органические удобрения, рулоны дерна, пищевые отходы, 10) автопокрышки. Выполнено моделирование ореолов загрязнения от свалок, которые представляют опасность и угрозу здоровью населения и окружающей природной среде. На рисунках а-г представлены реальная (исходные данные) и потенциальная (буферные зоны с радиусом 500 м) опасность от очагового расположения несанкционированных свалок, а также разные формы отображения информации: на трехмерном рельефе (а-б)) и на поверхности рельефа (в-г). Показано, что очаговое расположение несанкционированных свалок является источником повсеместного загрязнения территории.



Выводы

Алгоритмизация взаимосвязанности природных процессов и технические решения реализованы в модулях ГИС как приборах контроля и системах геоэкологической безопасности.

Модули ГИС «Геоэкологический стандарт» отображают параметры геоэкологической, геодинамической, функциональной, биобарьерной структуры территории и представляют собой новый способ аналитического контроля окружающей среды.

Созданные модули, функционирующие на основе алгоритмизации взаимосвязанности природных процессов, как приборы нового поколения, предоставляют пользователю инструмент управления и регулирования природопользованием по физиономичному портрету территории.

Литература

1. Геоэкологический стандарт // <http://geoecostd.com/ru/>
2. Маркелов Д.А. Оценка опасности очагового расположения несанкционированных свалок на основе цифрового моделирования рельефа как элемент геоэкологического стандарта территории (на примере города Москвы) / Геоэкологические проблемы современности: Доклады 3-ой Международной конференции, Владимир.- 23-25 сентября 2010 г.- С. 371-373 [Маркелов Д.А., Маркелов А.В., Минеева Н.Я., Кошкарёв А.В., Лихачева Э.А, Плынова О.Е., Григорьева М.А., Акользин А.П., Бухгалтер Л.Б.]

BIOSPHERE ENGINEERING: PRINCIPLES, CRITERIA, TECHNOLOGIES

Markelov D.A.¹, Aleshko-Ozhevskaya O.S.¹, Akolzin A.P.¹, Grigorieva M.A.², Mineeva N.Ya.¹

1 KARTEK LLC, Russian Federation, 119071 Moscow, Leninsky Prospekt, 29, building 2 Buryat State University. Dorzhi Banzarov, Russian Federation 670000 Ulan-Ude, st. Smolina, 24 "a"

Biosphere engineering is essentially a geographic industry - a field of activity on Earth based on the interconnectedness of natural processes and phenomena. The developed geographic industry is implemented in technologies and projects that have been tested and verified in the zonal spectrum of landscapes using examples of various types of nature management: urban settlements, specially protected natural areas, natural basins, industrial regions, disposal of radioactive waste, the impact of oil spills. The main criteria are the life strategies of populations, the main principles are bioindication and bioindicators, the main criteria are biogeocenotic barriers as forms of the adaptation syndrome and biotreatment.

ПРАВИЛА И ЗАКОНЫ – ЗАЛОГ СУЩЕСТВОВАНИЯ БИОСФЕРЫ

д.т.н., вед.н.с. Маркелов Д.А.¹, н.с. Алешко-Ожевская О.С.¹, д.т.н., проф., ген.дир. Акользин А.П.¹, к.г.н, доц. Григорьева М.А.², д.г.н., проф., вед. н.с. Минеева Н.Я.¹

¹ ООО «КАРТЭК», РФ, 119071 г. Москва, Ленинский проспект, д.29, стр.2 Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова, РФ 670000 г.Улан-Удэ, ул. Смолина, д.24 «а»

Показана взаимозависимость обитателей и природных объектов. В биосфере механизм осуществления принципа Ле Шателье – Брауна основывается на функционировании систем живого. Функционирование систем живого служит основным регулятором общеземных процессов. Меткой адаптационного синдрома на территории выступает геохимический ландшафт. Обосновано концепция создания геоэкостандарта как основы регулирования природопользования. Обоснована концепция деприватизации инфраструктуры территории как элиминирующего (разрушающего) фактора.

Жизнь по закону адаптации к геохимическим ландшафтам регламентируется правилами и законами (1).

1. Правило экологической индивидуальности Л. Г. Раменского: каждый вид специфичен по экологическим возможностям адаптации, двух идентичных видов не существует.

2. Аксиома адаптированности, или экологическая аксиома Ч. Дарвина: каждый вид адаптирован к строго определенной, специфичной для него совокупности условий существования — экологической нише.

3. Закон относительной независимости адаптации: высокая адаптированность к одному из экологических факторов не дает такой же степени приспособления к другим условиям жизни (наоборот, она может ограничивать эти возможности в силу физиолого-морфологических особенностей организмов).

4. Экологическое правило С. С. Шварца: каждое изменение условий существования прямо или косвенно вызывает соответствующие перемены в способах реализации энергетического баланса организма; чем выше уровень систематической категории или больше их классификационное различие, тем значительнее отличие в энергетических процессах.

Таким образом:

- Вся жизнь в биосфере развивается по единым законам во взаимосвязи.
- Все закономерности, характерные для живого, имеют адаптивный характер.
- Каждый организм, вид, популяция, сообщество выступают индикатором окружающей среды.

То есть, куда мы ни:

- шагнём – попадём в закон необратимости эволюции Л. Долло,
- взглянем – попадём в правило конструктивной эмерджентности (надёжная система может быть сложена из ненадёжных элементов или подсистем, не способных к индивидуальному существованию),
- плюнем – попадём в принцип Ле Шателье – Брауна (при внешнем воздействии, выводящем систему из состояния устойчивого равновесия, это равновесие смещается в том направлении, при котором эффект внешнего воздействия ослабляется.)

В биосфере механизм осуществления принципа Ле Шателье – Брауна основывается на функционировании систем живого.

Функционирование систем живого служит основным регулятором общеземных процессов (Вернадский).

Что же из этого следует?

Следует знать свой геохимический ландшафт, как метку своего адаптационного синдрома.

На карте каждый ландшафт охарактеризован геохимической формулой:

Типоморфные элементы / Дефицитные элементы / Избыточные элементы

Эта формула и определяет адаптационный синдром биоты и человека.

Вода, пища, воздух – составляющие энергетического баланса и принципа Ле Шателье – Брауна.

Индикаторы нарушения принципа – болезни.

Сценарии принятия решений – ликвидировать болезни путём составления этнических диет в соответствии с геохимией ландшафта (пример – йодированная соль в СССР повсеместно)

1. Признак адаптационного синдрома – любой физиономичный или этологический факт есть отклик на воздействие.

2. Распознать воздействие, разработать сценарий принятия решений – наша задача.

3. Шкалы распознавания: воздействие – отклик, доза – эффект.

4. Теперь всегда, везде и всё – прозрачно для нас: постигая взаимозависимость, мы устраняем неведение.

**МЕТКИ НА ТЕРРИТОРИИ - ИНФОРМАЦИОННЫЙ БАЗИС ПОЗНАНИЯ
МЕТОДЫ И РЕГЛАМЕНТ ДЕЙСТВИЙ (2)**

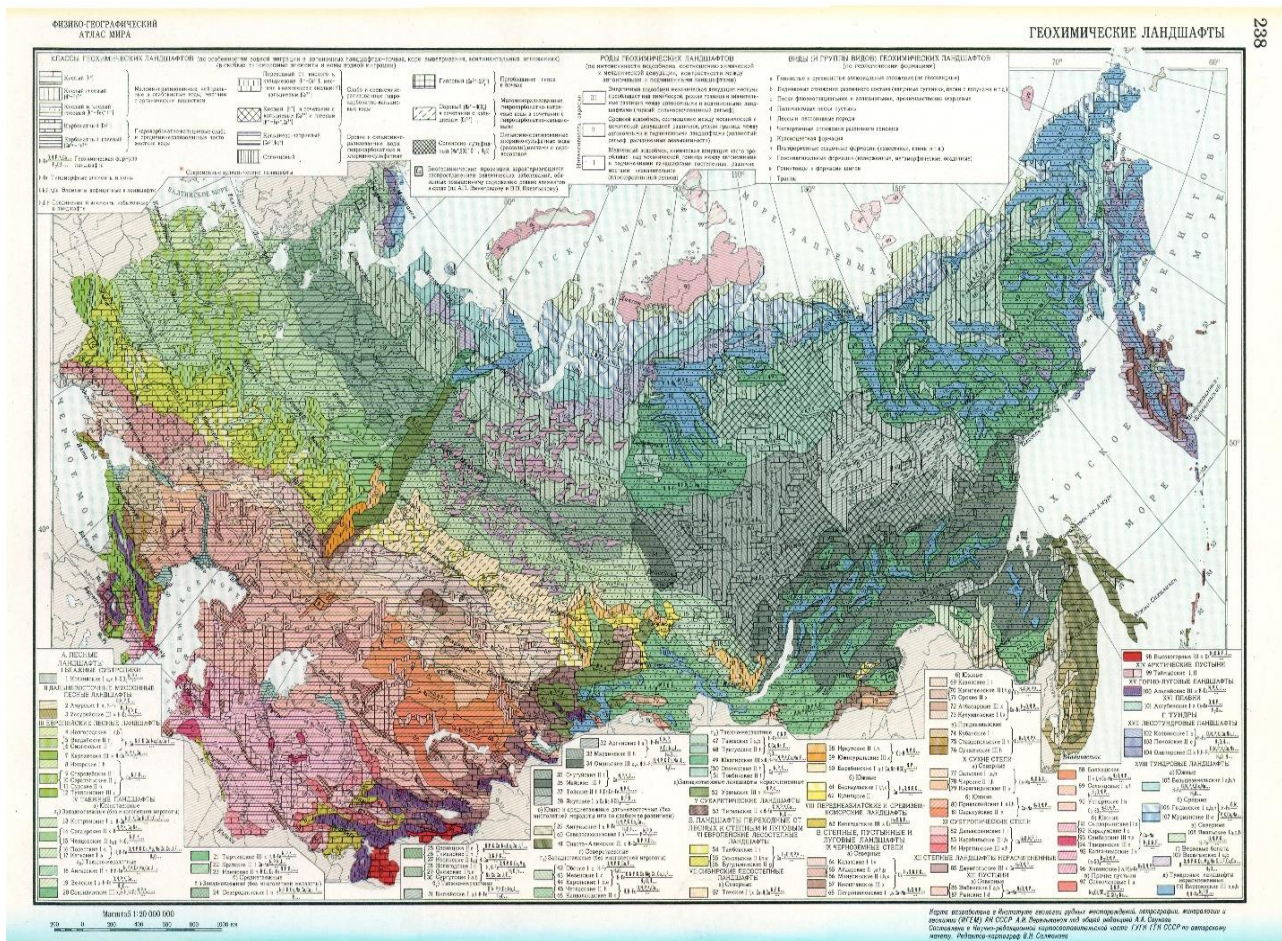


Рисунок 1. Геохимические ландшафты СССР (3)

Территории России выполняет значимую биосферную функцию для мира и Евразии – очищающую и оздоровительную в результате действия силы Кориолиса – западного переноса. Эта функция выполняется БЕЗВОЗМЕЗДНО, только на основе разумного природопользования государством, которое регулирует и сохраняет устойчивое развитие биомов на территории. В настоящем исследовании обоснована и реализована концепция геоэкостандарта территории: выполнена алгоритмизация взаимосвязанности природных процессов, технические решения реализованы в модулях ГИС, которые отображают параметры геоэкологической, геодинамической, функциональной, биобарьерной структуры территории. Созданные модули предоставляют пользователю инструмент регулирования и управления природопользованием по физиономическому портрету территории – это приборы нового поколения. Созданные БД в виде проектов и технологий геоэкостандарта составляют национальный фонд нормативов биосферных функций территорий: основа контроля и регулирования природопользования – геополитики коршуна, основа для расчета природной ренты каждому жителю территории – безусловный базовый доход.

Инфраструктура

Географические границы – типичные биобарьеры с функциями разделения и связи, представляют собой сгущение жизни и механизм защиты биосферы: здесь формируются новые сообщества, более устойчивые к воздействию, возникает адаптационный синдром. Территория, как ресурс государства, и объединяющая инфраструктура, составляют предмет базового дохода или природной ренты. На рисунке 2 показаны схемы магистральных трубопроводов ПАО «Транснефть».



Рисунок 51 Схемы магистральных трубопроводов ПАО «Транснефть». [15]

Рисунок 2. Схемы магистральных трубопроводов ПАО «Транснефть» (4)

1. Инфраструктурные (трансграничные, интразональные) объекты на территории выполняют жизнеобеспечивающие функции геосистем: земля, недра, воздух, реки, водоёмы, подземные воды, биота.

2. Инфраструктура жизнеобеспечения страны, государства — это: промышленность, сельское хозяйство, энергетика, транспорт, связь, образование, здравоохранение, наука, культура.

3. Инфраструктура, как кровеносная система единого организма, не может подлежать приватизации, не может быть в частной собственности.

4. Потому что не может быть никогда.

5. Никто не может приватизировать трансграничный перенос?

6. Приватизация инфраструктуры – это элиминирующий фактор, ведущий к разрушению и гибели цивилизации.

ВЫВОДЫ

1. Функционирование биоты и человека адаптировано к окружающей среде, а именно, к геохимической формуле ландшафта.

2. Нарушения в функционировании популяций и социумов, как болезни, определяются принципом Ле Шателье - Брауна – потеря устойчивого равновесия.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Разработка этнических диет для социумов с учетом геохимической формулы ландшафта проживания.

2. Внедрение этнических диет, как профилактики эндемичных заболеваний.

3. Внедрение этнических диет в системы питания на производстве.

4. Внедрение этнических диет как систем питания в службы рынка и маркетинга.

а мы теперь знаем: геохимическую формулу ландшафта, как места своего рождения и проживания – территорию адаптационного синдрома, и регулируем обмен веществ и энергии через пищу, воду, воздух в соответствии с законами, аксиомами, правилами и принципами и живём в равновесии – надёжно и устойчиво.

Литература

1. https://studopedia.su/13_14569_zakonomernosti-adaptatsii-biosistem.html
2. <https://geoecostd.com/ru/>
3. <http://geochemland.duckdns.org/>

Физико-географический атлас мира, Москва, 1964, СССР, Геохимические ландшафты
<http://geochemland.duckdns.org/uploads/images/FGAM/238.jpg>
4. <https://www.transneft.ru/pipelines> Схемы магистральных трубопроводов ПАО «Транснефть»

RULES AND LAWS ARE THE KEY TO THE EXISTENCE OF THE BIOSPHERE

Markelov D.A.¹, Aleshko-Ozhevskaya O.S.¹, Akolzin A.P.¹, Grigorieva M.A.², Mineeva N.Ya.¹

1 KARTEK LLC, Russian Federation, 119071 Moscow, Leninsky Prospekt, 29, building 2 Buryat State University. Dorzhi Banzarov, Russian Federation 670000 Ulan-Ude, st. Smolina, 24 "a"

The interdependence of inhabitants and natural objects is shown. In the biosphere, the mechanism for implementing the Le Chatelier-Brown principle is based on the functioning of living systems. The functioning of living systems serves as the main regulator of general terrestrial processes. The geochemical landscape acts as a marker of the adaptation syndrome in the territories. The concept of creating a geocostandard as the basis for regulating nature management is substantiated. The concept of deprivatization of the infrastructure of the territory as an eliminating (destroying) factor is substantiated.

ОСНОВЫ ГЕШТАЛЬТГЕОГРАФИИ - РАСПОЗНАВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

д.т.н., вед.н.с. Маркелов Д.А.¹, н.с. Алешко-Ожевская О.С.¹, д.т.н., проф., ген.дир. Акользин А.П.¹,
к.г.н, доц. Григорьева М.А.², д.г.н., проф., вед. н.с. Минеева Н.Я.¹

¹ ООО «КАРТЭК», РФ, 119071 г. Москва, Ленинский проспект, д.29, стр.2 Бурятский
государственный университет им. Доржи Банзарова, РФ 670000 г. Улан-Удэ, ул. Смолина, д.24 «а»

Показано, геополитика – это географический разум государства, а территория – стратегический ресурс государства. Гештальтгеография – распознавание [познание] территории через образ. Основные метки: природопользование – это любое действие на территории, признак адаптационного синдрома – любой физиономичный или этологический факт есть отклик на воздействие, гештальтгеография – распознавание территории по образу (карте, космо- и аэрофотоснимку, фотопортрету).

Регламент концепции природопользования – гештальтгеография (1-10)

1. Распознавание воздействия по определительным признакам – индикаторам.
2. Размещение индикаторов на шкалах: «воздействие – отклик», «доза – эффект».
3. Установление отклонений от нормы реакции – геоэкостандарта.
4. Разработку сценариев принятия решений.
5. Внедрение выбранного сценария – восстановление утраченных свойств.

Основа, ореология признаков, как элемент жизнеобеспечения территории

Система распознавания состояния территории показана на примерах (рис. 1).

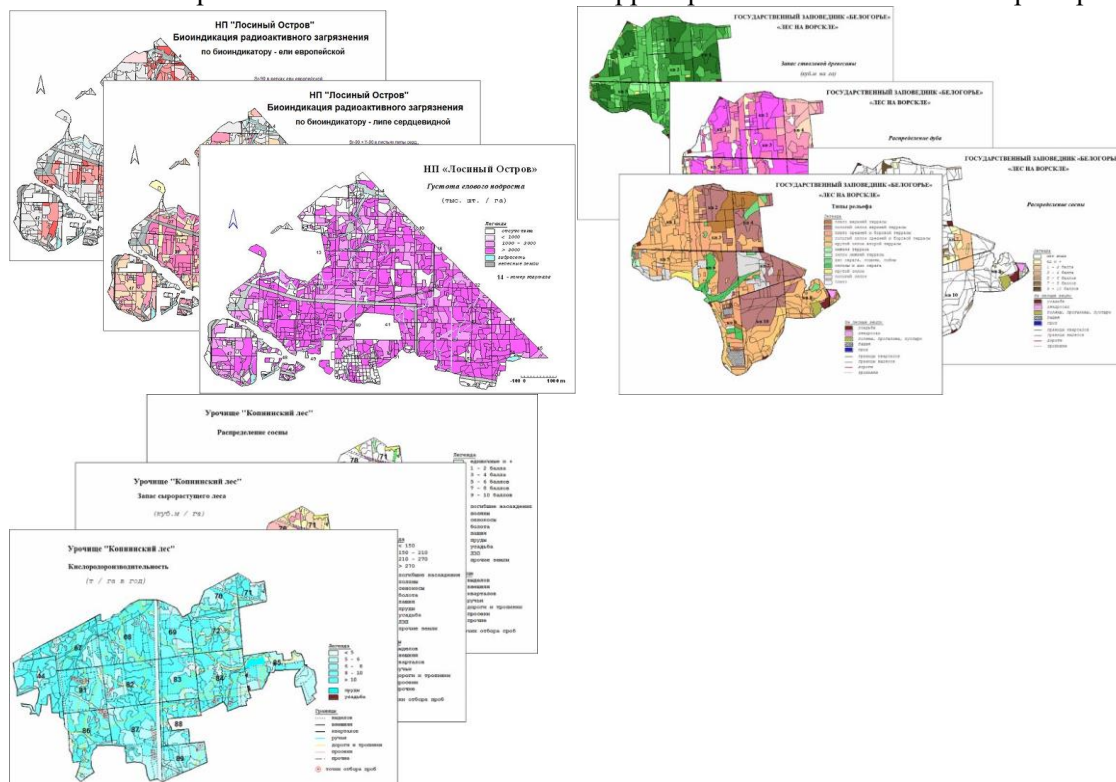


Рисунок 1. Распознавание состояния территории

Картографический образ пространства, как сеть ореолов значимых индикаторов, представляет систему жизнеобеспечения территории. Инструмент гештальтгеографии убедительно, наглядно и уверенно диктует принятие решений для восстановления утраченных свойств – баланса и устойчивого развития природно-техногенных систем территории. «В чем главный, стратегический ресурс России? Не в газе, не в нефти самих по себе. А в 1/9 земной суши, удельная капитализация совокупных ресурсов которой в пять раз ниже, чем в среднем по земному шару!» [Сергей Чернышёв,] «Россия сегодня – главный земной заповедник некапитализированных ресурсов, глобальная неподнятая целина, вторая Антарктида, где лежат под спудом свыше 12% мировых ресурсов всех типов (в том числе остаточный ресурс склонности тающего населения к науке и новаторству). Один лишь экстенсивный подъем уровня их капитализации до среднемирового уже способен дать прирост всемирного валового продукта в полтора раза! Человечество просто вынуждено взяться за эту задачу — с нашим ли участием либо без нас. Здесь – главная угроза суверенитету, целостности страны. И здесь же – главный ресурс возрождения, материальная основа стратегии вхождения в будущее. Организовать и возглавить глобальный процесс освоения российских ресурсов. Дать возможность всем конструктивным и добросовестным участникам заработать долю – не в основном капитале материального тела страны, а в приросте ее стоимости. И при этом не только сохранить нашу собственность на национальные богатства, нократно приумножить их.»

Заключение

1. Рассмотрен государственный общенациональный подход к природопользованию в соответствии с определением В.А. Дергачева: территория – это стратегический ресурс государства, а геополитика – географический разум государства.
2. Гештальтгеография, как распознавание территории по образу, является регламентирующим фактором природопользования. На конкретных примерах показана управляющая роль картографического образа территории, сформированного ореолами значимых признаков.
3. Создана база данных биосферных эталонов – геоэкостандартов территории с индивидуальными значениями потенциалов вместимости.
4. Создана общенациональная система нормативов природопользования, определяющая ресурсность территории государства и природную ренту, как базовый доход населения.

Литература

1. Дергачев В. А. Геополитика: учеб. для вузов. — М.: Юнити-Дана, 2004. — 526 с.
2. Хаусхофер К. О геополитике. Работы разных лет. — М.: Мысль, 2001. — 426 с.
3. Дергачев В.А. Глобалистика. — М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2005. — 303 с. Словарь основных понятий глобалистики// <http://dergachev.ru/book-6/14.html>
4. <http://dergachev.ru/book-6/14.html> Географический разум государства (по Хаусхоферу)
5. <https://lektsii.org/6-64234.html> Геополитика – это географический разум государства»
6. <https://ru-ecology.info/term/25823/> Правило экологической индивидуальности (Раменского)
7. <https://geoecostd.com/ru/projects/>
8. <https://geoecostd.com/ru/category/publications/> Территория — стратегический ресурс государства /Д.А. Маркелов, Н.Я. Минеева, А.И. Соболев, А.П. Акользин, О. Е. Польшина, М.А. Григорьева
9. Маркелов Д.А., Голубчиков Ю.Н., Маркелов А.В. , Минеева Н.Я., Григорьева М.А., Польшина О.Е., Акользин А.П. Гештальтгеография как познание территории через образ / Неогеография и Метакартосемиотика: знаковый мир Приазовья. Материалы семинара. /Под редакцией Володченко А.С. и Ерёмченко Е.Н. Донецк, изд-во ДИТБ, 2013. — С.12-13.
10. 10. Маркелов Д.А, Минеева Н.Я. , Акользин А.П., Григорьева М.А., Алешко-Ожевская О.С. Гештальтгеография в концепции природопользования // ГУЗ Московский экономический журнал – 2019 // <https://qje.su/rekreacia-i-turizm/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-12-2019-9/> <https://yaznaniye.ru/a/pp5m2cLG>

BASICS OF GESTALT GEOGRAPHY - RECOGNITION AND PREDICTION

Markelov D.A.¹, Aleshko-Ozhevskaya O.S.¹, Akolzin A.P.¹, Grigorieva M.A.², Mineeva N.Ya.¹

1 KARTEK LLC, Russian Federation, 119071 Moscow, Leninsky Prospekt, 29, building 2 Buryat State University. Dorzhi Banzarov, Russian Federation 670000 Ulan-Ude, st. Smolina, 24 "a"

It is shown that geopolitics is the geographical mind of the state, and the territory is the strategic resource of the state. Gestalt geography is the recognition [cognition] of a territory through an image. Main tags: nature management is any action on the territory, a sign of an adaptation syndrome - any physiognomic or ethological fact is a response to the impact, gestalt geography - recognition of the territory by image (map, space and aerial photograph, photo portrait).

ТЕРРИТОРИЯ В МОДУЛЯХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ (ГИС)

д.т.н., вед.н.с. Маркелов Д.А.¹, н.с. Алешко-Ожевская О.С.¹, д.т.н., проф., ген.дир. Акользин А.П.¹,
к.г.н, доц. Григорьева М.А.², д.г.н., проф., вед. н.с. Минеева Н.Я.¹

¹ ООО «КАРТЭК», РФ, 119071 г. Москва, Ленинский проспект, д.29, стр.2 Бурятский
государственный университет им. Доржи Банзарова, РФ 670000 г.Улан-Удэ, ул. Смолина, д.24 «а»

Обоснован стратегический подход к геоэкологической безопасности, определяющей экологический баланс на Земле. Разработаны и созданы технологии оценки экологического состояния. На конкретных примерах показаны территории и их Геоэкологический стандарт, как инструмент управления природопользованием.

Геоэкологическая безопасность определяется как комплекс состояний, явлений и действий, поддерживающих экологический баланс на Земле и в любых ее регионах.

Территория, являясь стратегическим ресурсом государства, выступает ареной биосферных процессов, баланс которых обеспечивает устойчивое развитие.

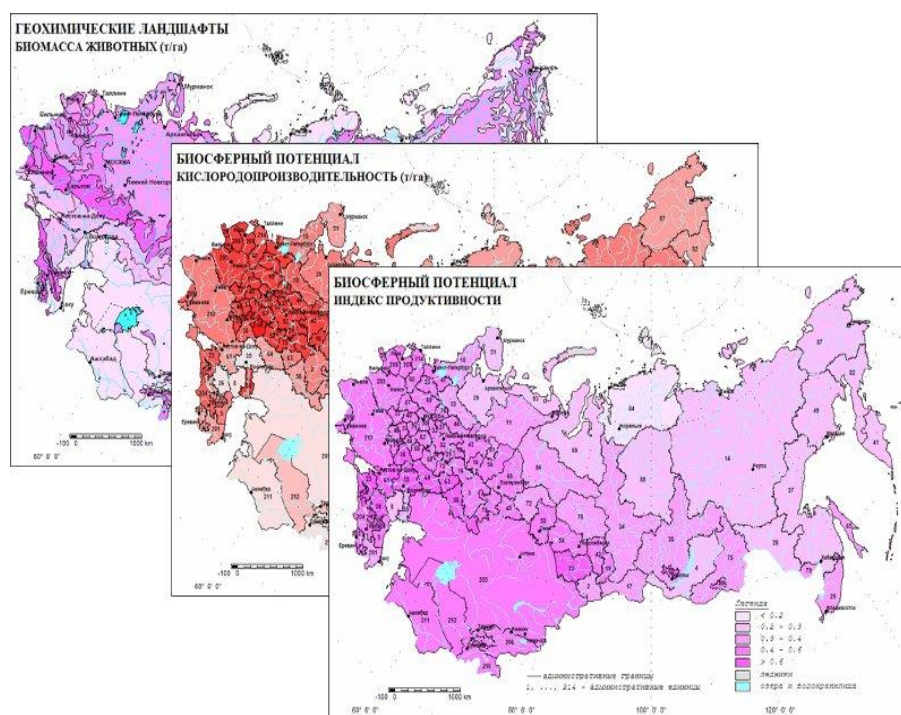
Геоэкологическое состояние территории является функцией ее геоэкологической структуры, любые вещества, поступившие в природные системы, становятся их частью, вовлекаются в круговорот и подчиняются законам природы.

Геоэкологический стандарт – это типовое геоэкологическое состояние и типовые уровни химических, радиационных и других параметров в соответствии с типичными ландшафтно-зональными условиями.

Алгоритмизация взаимосвязанности природных процессов и технические решения реализованы в модулях ГИС как приборах контроля и системах геоэкологической безопасности.

Модули ГИС «Геоэкологический стандарт» отображают параметры геоэкологической, геодинамической, функциональной, биобарьерной структуры территории и представляют собой новый способ аналитического контроля окружающей среды (рис. 1-9).

Созданные модули, функционирующие на основе алгоритмизации взаимосвязанности природных процессов, как приборы нового поколения, предоставляют пользователю инструмент управления и регулирования природопользованием по физиономичному портрету территории.



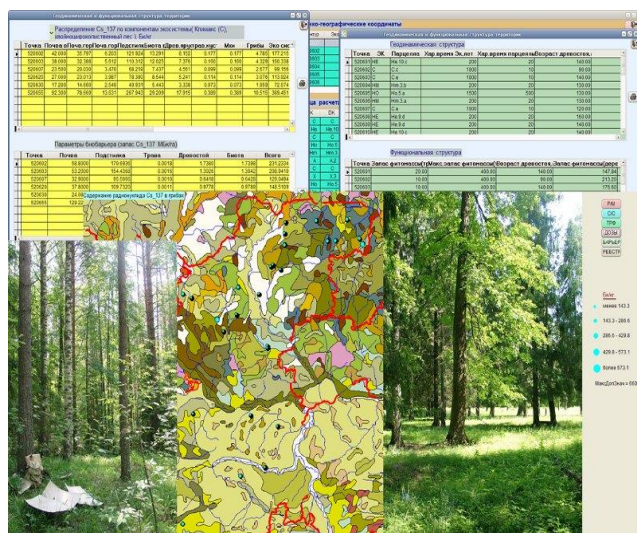


Рисунок 2. Геоэкологический стандарт территории Нижегородской области

Созданная геоинформационная система содержит атрибутивную информацию, позиционированную в географических координатах, по экогенетическим фазам растительного покрова, геоэкологическим описаниям природных систем, в том числе типам режимов факторов, по реальному и предельно допустимому содержанию радионуклидов в объектах окружающей среды, по поглощенным дозам в воздухе от естественных радионуклидов в почве, по реальным и предельно допустимым дозам на биоту, по запасу радионуклидов в биобарьерах, электронный атлас природных и радиационных параметров, характеризующих современное состояние природного комплекса региона. Модуль представлен в качестве эталона в системе радиоэкологического мониторинга

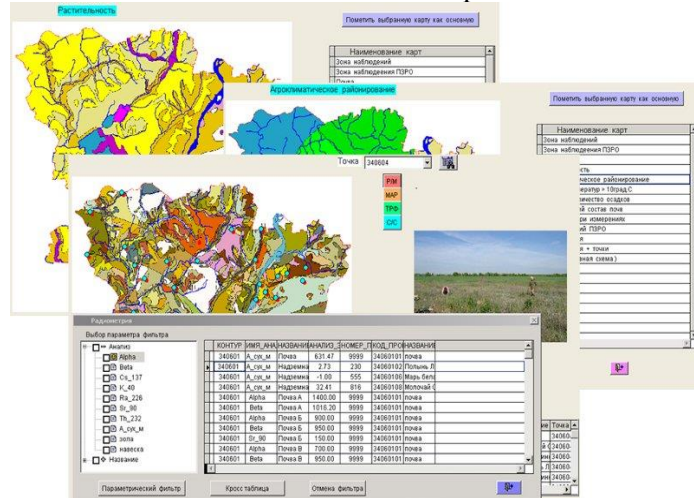


Рисунок 3. Геоэкологический стандарт территории Волгоградской области

Созданная геоинформационная система содержит атрибутивную информацию, позиционированную в географических координатах, по экогенетическим фазам растительного покрова, геоэкологическим описаниям природных систем, в том числе типам режимов факторов, по реальному и предельно допустимому содержанию радионуклидов в объектах окружающей среды, по поглощенным дозам в воздухе от естественных радионуклидов в почве, по реальным и предельно допустимым дозам на биоту, по запасу радионуклидов в биобарьерах, электронный атлас природных и радиационных параметров, характеризующих современное состояние природного комплекса региона. Модуль представлен в качестве эталона в системе радиоэкологического мониторинга.

Созданная геоинформационная система содержит цифровые карты основы, атрибутивную информацию, позиционированную в географических координатах, по экогенетическим фазам растительного покрова, геоэкологическим описаниям природных систем, в том числе типам режимов факторов, по реальному и предельно допустимому содержанию радионуклидов в объектах окружающей среды, по поглощенным дозам в воздухе от естественных радионуклидов в почве, по реальным и предельно допустимым дозам на биоту, по запасу радионуклидов в биобарьерах, электронный атлас природных и радиационных параметров, характеризующих современное состояние природного комплекса региона. Модуль представлен в качестве эталона в системе радиоэкологического мониторинга.

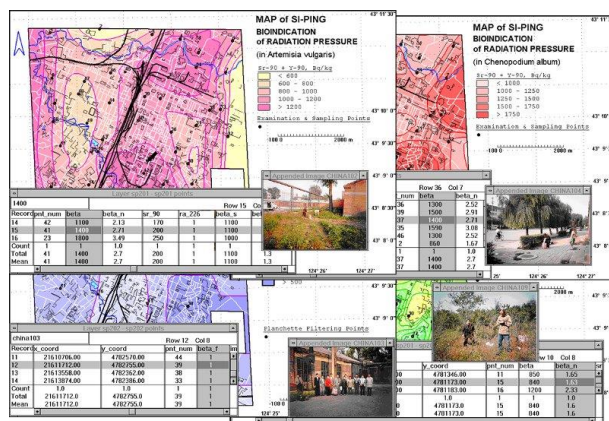


Рисунок 7. Геоэкологический стандарт территории города Сыпин (КНР)

Созданная геоинформационная система содержит цифровые карты основы, атрибутивную информацию, позиционированную в географических координатах, по экогенетическим фазам растительного покрова, геоэкологическим описаниям природных систем, в том числе типам режимов факторов, по реальному и предельно допустимому содержанию тяжелых металлов, радионуклидов в объектах окружающей среды, по поглощенным дозам в воздухе от естественных радионуклидов в почве, по реальным и предельно допустимым дозам на биоту, по запасу радионуклидов в биобарьерах, электронный атлас природных и радиационных параметров, характеризующих современное состояние природного комплекса региона. Модуль представлен в качестве эталона в системе радиоэкологического мониторинга.

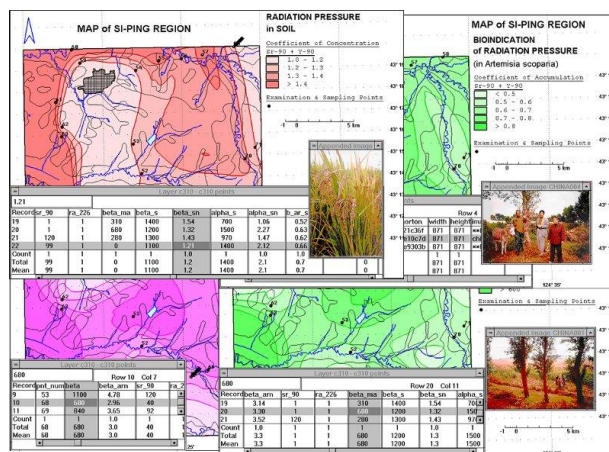


Рисунок 8. Геоэкологический стандарт территории уезда Сыпин провинции Гирин (КНР)

Созданная геоинформационная система содержит цифровые карты основы, атрибутивную информацию, позиционированную в географических координатах, по экогенетическим фазам растительного покрова, геоэкологическим описаниям природных систем, в том числе типам режимов факторов, по реальному и предельно допустимому содержанию тяжелых металлов, радионуклидов в объектах окружающей среды, по поглощенным дозам в воздухе от естественных радионуклидов в почве, по реальным и предельно допустимым дозам на биоту, по запасу радионуклидов в биобарьерах, электронный атлас природных и радиационных параметров, характеризующих современное состояние природного комплекса региона. Модуль представлен в качестве эталона в системе радиоэкологического мониторинга.

природного комплекса региона. Модуль представлен в качестве эталона в системе радиоэкологического мониторинга.



Рисунок 9. Геоэкологический стандарт территории. Опасные объекты и технические решения по их ликвидации

Проект реализован на территории г. Грозного Чеченской Республики для выявления опасных объектов – источников и очагов загрязнения земель отходами химического и нефтехимического производства, разработки мероприятий по локализации загрязнений, ликвидации очагов и рекультивации загрязненных земель. Созданная геоинформационная система содержит цифровую карту основу, атрибутивную информацию, позиционированную в географических координатах, базы данных опасных объектов, потенциально опасных объектов, технологический регламент и сценарии дальнейшего развития ситуации.

Выводы

1. Использованы разработанные новые ГИС технологии.
2. Созданы модули ГИС Геоэкологический стандарт территории.
3. Представлены территории в модулях ГИС в виде карт, фото, моделей.

Литература

1. <https://geocostd.com/ru/> информация
2. <https://geocostd.com/ru/technologies/> Технологии, созданные коллективом geocostd.com
3. <https://geocostd.com/ru/projects/> Проекты, реализованные коллективом geocostd.com

TERRITORY IN MODULES OF GEOINFORMATION SYSTEMS (GIS)

Markelov D.A.¹, Aleshko-Ozhevskaya O.S.¹, Akolzin A.P.¹, Grigorieva M.A.², Mineeva N.Ya.¹

1 KARTEK LLC, Russian Federation, 119071 Moscow, Leninsky Prospekt, 29, building 2 Buryat State University. Dorzhi Banzarov, Russian Federation 670000 Ulan-Ude, st. Smolina, 24 "a"

A strategic approach to geoecological safety, which determines the ecological balance on Earth, is substantiated. Technologies for assessing the ecological state have been developed and created. Specific examples show the territories and their Geoecological standard as a tool for environmental management.

ИСТОКИ ЯМАЛЬСКОГО ТЕЧЕНИЯ

Амбросимов А.К.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

В работе представлены материалы по изучению истоков Ямальского течения. Показано, что в залив через проливы Карские ворота и Югорский шар поступают трансформированные Атлантические воды и с севера по дну воды Восточно-Новоземельского течения. В заливе морские воды взаимодействуют с береговыми пресными и вытекают вдоль западного побережья Ямала в Карское море под названием Ямальское течение. Течение формируется в районе о. Литке.

Введение

Через проливы Карские Ворота и Югорский шар в Карское море поступают Баренцевоморские воды, часть которых уходит в Байдарацкую губу, а часть движется на СВ, где у западного побережья полуострова Ямал смешивается с Ямальским течением и объединенное течение движется на север. У о. Белый в конце летнего сезона объединенное Ямальское течение встречается с основным стоковым потоком западной ветви Обь-Енисейского течения (ОЕТ), которое в это время доходит до ЮЗ части моря. Здесь потоки взаимодействуют и вместе они движутся к северо-восточному побережью Новой Земли [5-7]. У острова Новая Земля они вливаются в Восточно-Новоземельское течение, образуя циклонический круговорот. Этот круговорот довольно слабый, а изменчивость течений в этой акватории очень высокая. Несколько особо стоит вопрос о Восточно-Новоземельском течении, поскольку нет данных о его точном местоположении. Можно предположить, что это течение проходит над склоном в пограничной зоне о. Новая Земля.

Методы исследований и научная аппаратура

При исследовании арктических морей главное внимание уделяется изучению гидрологических, гидрофизических и гидрохимических процессов, которые в большей мере отражают климатические особенности морской среды и ее изменения. Для получения данных о состоянии и изменчивости океанологических характеристик морской среды в экспедициях на научных судах РАН была использована следующая аппаратура: CTD-зонды для измерения вертикального распределения температуры, солености и других характеристик водной толщи; батометры для взятия проб воды на заданных горизонтах; доплеровские акустические измерители течений; профилографы течений; волнографы; акустические сейсмопрофилографы для изучения строения дна и донных отложений; черпаки для взятия проб донных отложений и др. оборудование.

Измерения течений на судах проводились как в режиме зондирования с помощью ADCP с борта судна на океанологических станциях, так и при профилировании течений на ходу судна с помощью судового SADC. Многие характеристики водной среды измерялись на ходу судна в режиме прокачки приповерхностной воды. В исследованиях использовались также данные спутниковых наблюдений для привязки фоновых характеристик поверхности моря на больших акваториях к данным прямых измерений.

Исходные данные

Статья написана по материалам исследований, полученным в 89-1 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2022 г, а также с привлечением данных экспедиций НИС «Академик Николай Страхов» и «Академик Иоффе» в 2018-2021 гг.

Через проливы Карские ворота и Югорский шар в Карское море поступает Баренцевоморское течений (БТ), которое, по сути, состоит из трансформированных Атлантических вод. Часть этих вод входит в Байдарацкую губу, а часть идет на север и северо-восток, где смешивается с восточной ветвью Восточно-Новоземельского течения (ВНТ) и выходящим из залива Ямальским течением (ЯТ) [1-3]. По дну в Байдарацкую губу поступает и часть вод ВНТ. В залив в летний сезон поступают стоковые воды с берега и от ледников [4].

В заливе морские воды смешиваются с пресными с берега и вдоль побережья п-ва Ямал вытекают из залива на север в Карское море. Отметим, что в Байдарацкой губе наблюдается наиболее высокий прогрев верхнего слоя до температуры 8.5°C при солености около 27‰, а в придонном слое температура и соленость составляют -1.6°C и 33.5‰ соответственно, что характеризует их как воды ВНТ.

Ямальское течение зарождается в Байдарацкой губе южнее о. Литке и распространяется в северном направлении вдоль побережья п-ва Ямал до изобаты 100 м, где оно смешивается с водами БТ и ВНТ. На широте около 72° эти воды различных происхождений встречаются и взаимодействуют между собой, вызывая высокую изменчивость гидрологических и гидрофизических характеристик. Далее на север течет уже объединенное Ямальское течение.

На рис. 1. представлены результаты измерения температуры и солености в приповерхностном слое по маршруту движения судна в юго-западной части Карского моря. Анализ вертикальных профилей температуры и солености в Ямальском течении, показывает, что здесь, начиная с южной ст.7433 и до ст.7437 от поверхности до дна наблюдается полное перемешивание морских и стоковых вод (табл.1), при этом, по мере продвижения на север, средние значения температуры уменьшаются, а солености – растут (рис. 2).

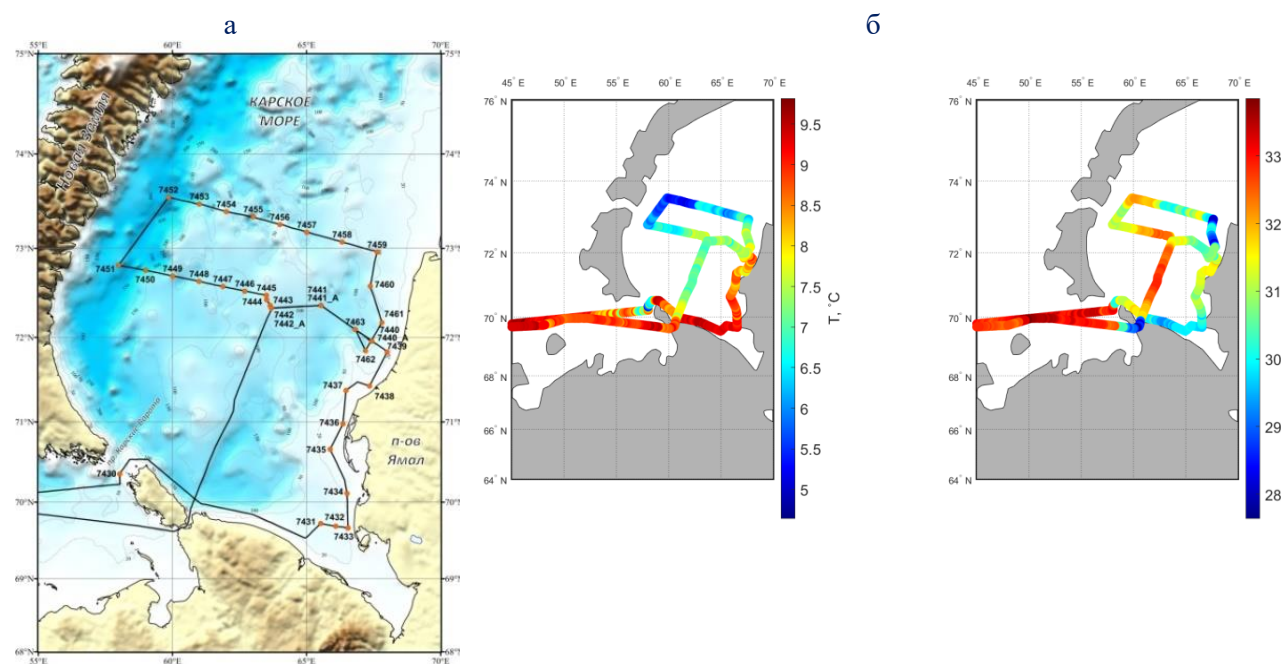


Рис. 1. Распределение температуры и солености в верхнем слое Байдарацкой губы и Карского моря по маршруту 89-1 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» (08.-15.09.2022).

Изгибы кривых на рисунке показывают, что, несмотря на полное перемешивание морских и речных вод, на более близких к берегу станциях температура воды выше, чем на более удаленных от берега. Это указывает на неравномерность распределения температуры и солености на шельфе Ямала, связанную с неравномерностью прогрева и поступления пресных вод с берега.

Таблица 1. Распределение температуры и солености вдоль побережья п-ва Ямал.

Ямал	7432	7433	7434	7435	7436	7437
T	9.0	8.6	8.7	8.8	8.2	8.4
S	29.2	29.75	30.3	31.2	31.2	31.4
ρ	23.1	23.05	23.4	24.1	24.3	24.4

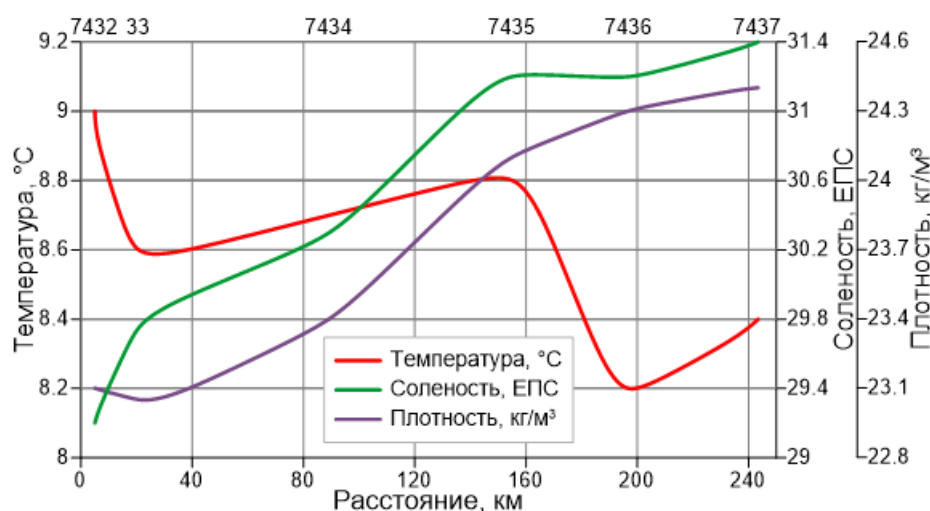


Рис. 2. Распределение температуры, солёности и плотности с юга на север вдоль западного побережья п-ва Ямал (сверху шкалы указаны номера станций).

Обсуждение результатов наблюдений

Анализ вертикальных распределений температуры и солёности в центральной части Байдарацкой губы (рис.3а), выполненных на протяжении нескольких последних лет, показал, что профили температуры и солёности здесь имеют слоистый характер на протяжении всего летнего сезона, что связано с поступлением в эту часть моря вод различного происхождения и различной плотностью. Ступенчатый вид профилей также связан с относительно застойным характером движения вод в центральной части залива.

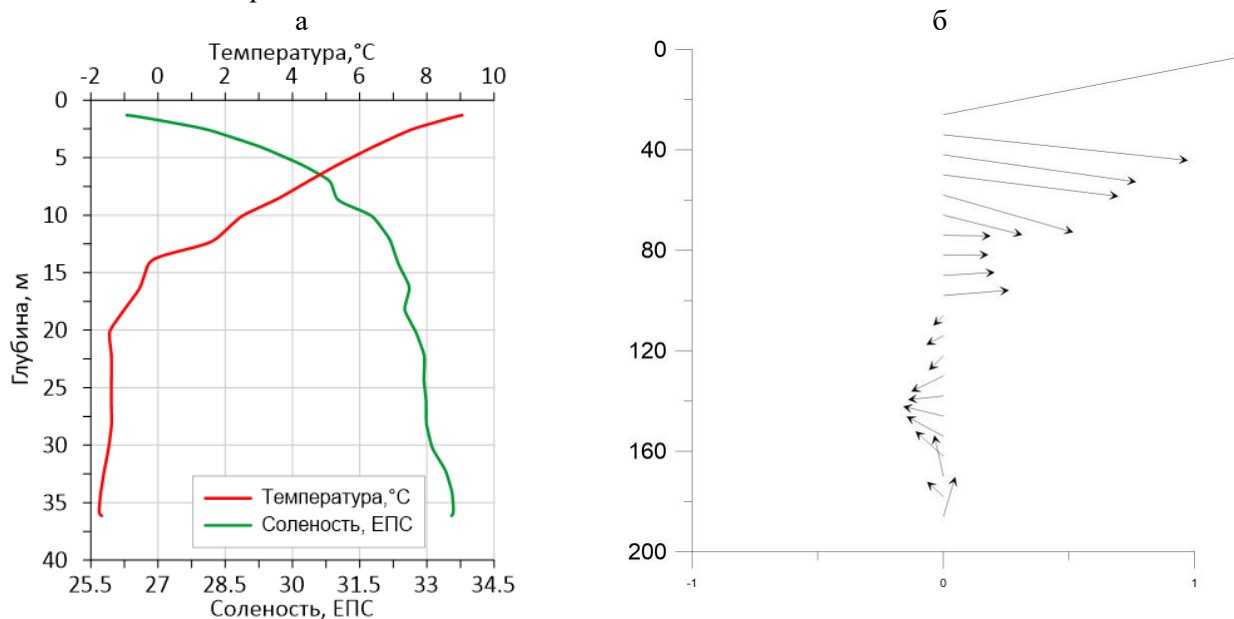
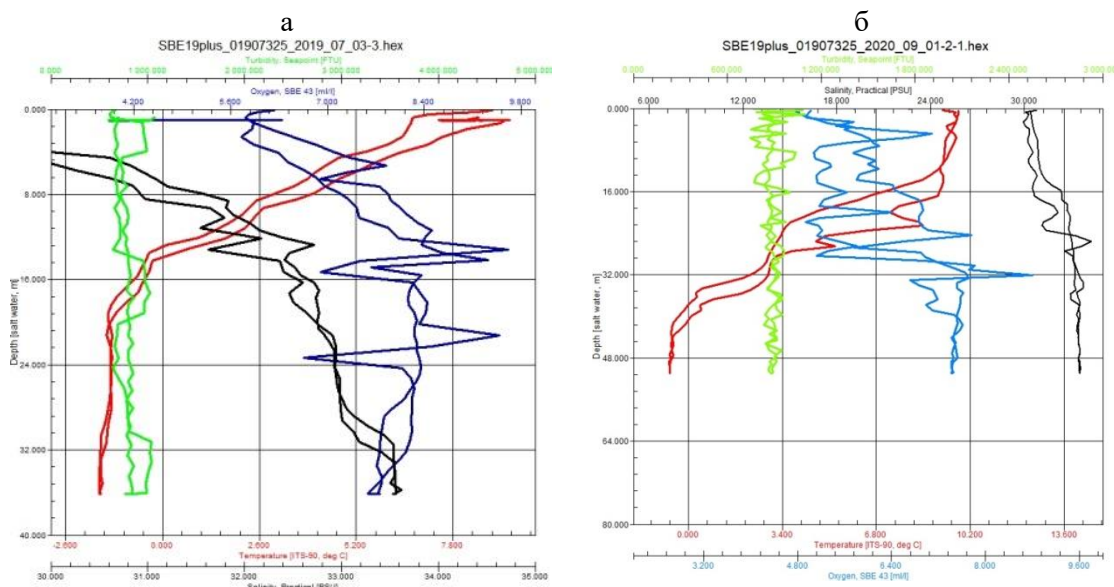


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры, солёности а) и течения б) в центральной части Байдарацкой губы. (Стрелки указывают на географическое направление течения, длина стрелки – модуль скорости, а положение на оси глубины – горизонт наблюдений).

Измерения показали, что в заливе по TS-характеристикам можно выделить три типа вод (табл.1): Баренцевоморские, воды Восточно-Новоземельского течения и воды Ямальского течения (ЯТ). Баренцевоморские воды с температурой от 1.0 до 4.2°C и солёностью от 30.0 до 31.0 ‰ занимают верхние горизонты в срединной части губы, воды ВНТ с температурой от -1.0 до 1.0°C и солёностью 34.5 ‰ занимают придонную область залива, а воды Ямальского течения формируются у западного побережья с температурой от 9.0 до 8.2°C и солёностью 12-30 ‰ и занимают прибрежную полосу вдоль п-ва Ямал. Очевидно, что воды ВНТ как более тяжелые подныривают под БТ и по дну попадают в залив. Вертикальные профили течений в заливе также приурочены к различным потокам: воды БТ занимают горизонты от 0 до 30 м и направлены на ЮВ со скоростями от 10 до 30 см/с, а ВНТ

распространяются в заливе в южном и ЮЗ направлениях со скоростями от 5 до 10 см/с (рис.36). Отметим, что в центральной части залива на глубинах ниже 40 м величины скоростей и направление течения довольно стабильны.



Литература

1. Амбросимов А.К. Динамика термохалинной структуры и течений западной части Карского моря в июле 2019 и августе 2020 года.// Междунар. конф. Инженерная экология. НТО радиотехника, электроника и связь им.А.С.Попова. 2021. Вып.ХІ. С.134-137.
2. Амбросимов А.К. Динамика термохалинной структуры и течений западной части Карского моря в июле 2019 и августе 2020 года.// Междунар. конф. Инженерная экология. НТО радиотехника, электроника и связь им.А.С.Попова. 2021. Вып.ХІ. С.134-137.
3. Амбросимов А.К., Ковалев Г.А. Гидрология и течения Карского моря в весенне-летний период 2019 г. (43-й рейс НИС «Академик Николай Страхов»)// М., Экологические системы и приборы. 2020, №1, С. 49-54.
4. Буренков В.И., Васильков А.П. О влиянии материкового стока на пространственное распределение гидрологических характеристик вод Карского моря // Океанология. 1994. Т. 34. №5. С.652-661.
5. Поярков С.Г., Недоспасов А.А. Особенности гидрофизической структуры и переноса вод в заливах южного острова архипелага Новая Земля//Материалы конф. «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2021). РАН, Минобр.науки. ИО им. П.П. Ширшова РАН, МГТУ им. Баумана. 2021. Т1. С.120-124
6. Поярков С.Г., Недоспасов А.А. Особенности распространения опресненных речным стоком Оби и Енисея вод по акватории Карского моря//Материалы конф. «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2021), РАН, Минобр.науки, ИО им. П.П. Ширшова РАН, МГТУ им. Баумана. 2021. Т1. С.129-134.
7. Флинт М.В., Поярков С.Г. Комплексные исследования экосистемы Карского моря (128-й рейс научно-исследовательского судна «Профессор Штокман»)// Океанология. 2015. Т.55. №4. С. 723- 726

ORIGINS OF THE YAMAL CURRENT

Ambrosimov A.K.

Shirshov Institute of Oceanology RAS

The paper presents materials on the study of the origins of the Yamal Current. It is shown that the transformed Atlantic waters enter the bay through the straits of the Kara Gate and the Yugorsky Shar and from the north along the bottom of the water of the East Novaya Zemlya Current. In the bay, sea waters interact with coastal fresh waters and flow along the western coast of Yamal into the Kara Sea called the Yamal current. The current is formed in the area of about. Litke

РАЙОНИРОВАНИЕ МОРСКИХ ВОД ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЯ КОЛМОГОРОВА-СМИРНОВА

Ковалев Г. А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

В процессе океанологических экспедиций на научно-исследовательских судах РАН в течении короткого времени накапливается большой объем данных по результатам зондирования водной толщи, который не всегда можно оперативно обработать. Для автоматизации части исследований была разработана программа объективной классификации данных, которая основана на использовании вероятностного критерия Колмогорова-Смирнова [3].

Критерий Колмогорова-Смирнова представляет собой математический метод для определения степени сходства или различия в множестве выборок и выделения для заданного уровня значимости из этого множества нескольких генеральных совокупностей.

Этот критерий основан на сравнении рядов накопленных частостей двух совокупностей. Частость показывает долю общего объема совокупности, приходящуюся на данное значение, или

$$v_i = n_i/N$$

Пусть $\varphi_i\{x\}$ и $\varphi_i\{y\}$ – накопленные частости двух совокупностей. Из разностей $\eta_i = \varphi_i\{x\} - \varphi_i\{y\}$ находим наибольшую по абсолютной величине разность:

$$D = \max |\varphi_i\{x\} - \varphi_i\{y\}|$$

Согласно критерию, нулевая гипотеза или близкое сходство отвергается, если эта максимальная разность оказывается слишком большой. Слишком большая разность зависит от принятого уровня значимости β и от объемов совокупностей n_x и n_y . Расчеты показали, что в качестве граничного значения D можно принять

$$D_\beta = (1/2 \cdot \ln 2 / \beta \cdot (1/n_x + 1/n_y))^{1/2}$$

обозначая $\lambda_\beta = (1/2 \cdot \ln 2 / \beta)$, имеем $D_\beta = \lambda_\beta \cdot (n_x + n_y / n_x n_y)^{1/2}$,

вместо того, чтобы сравнивать эмпирическое значение D с D_β , можно сравнивать $\lambda^2 = D^2 \cdot n_x n_y / (n_x + n_y)$ с λ_β^2 , при этом

$$\lambda_{05}^2 = 1/2 \cdot \ln(2/0.05) = 1.84$$

$$\lambda_{01}^2 = 1/2 \cdot \ln(2/0.01) = 2.65$$

При применении критерия Колмогорова-Смирнова получаем численное значение, если это значение попадает в заданный доверительный интервал, то можно сделать вывод, что выборки считаются достаточно схожими и можно считать, что они принадлежат одной генеральной совокупности.

Метод был применен при классификации океанологических данных, полученных в арктических экспедициях на НИС «Академик Мстислав Келдыш»[1], «Академик Николай Страхов»[2] и «Академик Иоффе» с 2018 по 2022 годов с целью районирования водных масс по характерным гидрологическим признакам.

В экспедициях применение критерия Колмогорова-Смирнова было направлено на сравнение двумерных выборок распределения температуры и солености с глубиной при зондировании водной толщи. Эта процедура позволила выявить водные массы, распределения которые были статистически схожими по обоим параметрам. По результатам сравнения ансамбля T,S выборок были получены несколько генеральных совокупностей, каждая из которых объединяет водные массы различного происхождения. В настоящее время проводится анализ идентификации генеральных совокупностей с водными массами различного происхождения.

В частности, классификация водных масс на субзональных разрезах от п-ва Ямал до Восточно-Новоземельского желоба в 89-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш», показала, что в сентябре в юго-западную часть Карского моря вторгается западная ветвь Обь-Енисейского течения, с характерными для нее параметрами водной массы.

Литература.

1. Урбах В. Ю. Математическая статистика для биологов и медиков // Изд-во Акад. наук СССР, 1963. С. 248-257.
2. Амбросимов А.К. О течениях Карского моря и переносе вод через проливы // Инженерная экология. В Докл. междунар. симпоз. Москва. 2021. НТОРЭС им. А.С. Попова.
3. Амбросимов А.К., Ковалев Г.А. Гидрология и течения Карского моря в весенне-летний период 2019 г. (43-й рейс НИС «Академик Николай Страхов») // М. Экологические системы и приборы. 2020. №1. С. 49-54.

ONING THE MARINE WATERS OF THE SOUTHWESTERN PART OF THE KARA SEA ACCORDING TO HYDROLOGICAL PARAMETERS USING THE KOLMOGOROV- SMIRNOV CRITERION

G. A. Kovalev

Shirshov Institute of Oceanology RAS

In the process of oceanological expeditions on research vessels of the Russian Academy of Sciences, a large amount of data is accumulated in a short time based on the results of sounding of the water column, which cannot always be processed promptly. To automate part of the research, a program for objective data classification was developed, which is based on the use of the Kolmogorov-Smirnov probabilistic criterion [3].

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО РАЗМЕРАМ АРКТИЧЕСКИХ ОЗЕР СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ СНИМКОВ SENTINEL-2 И КАНОПУС-В

Проф., д.ф.-м.н. Полищук Ю.М., гл. специалист Муратов И.Н., гл. специалист
Байсалимова О.А.

АУ «Югорский НИИ информационных технологий», 628011, г. Ханты-Мансийск, Россия

Исследования проведены на арктических территориях Якутии, Чукотки и Камчатки, представляющих сравнительно однородные по природным свойствам области, называемые экорегионами. Использованы космические снимки Канопус-В и Sentinel-2 (с пространственным разрешением 2,1 и 20 м соответственно), полученные в летние месяцы 2017-2021 гг. Кратко изложена методика интеграции данных со снимков Канопус-В и Sentinel-2 для построения графиков синтезированных гистограмм распределения озер по их размерам, позволившая получить гистограммы распределения озер в очень широком диапазоне их размеров от 50 до 10^8 м². Показано, что основной вклад в численность озер Северо-Восточной Арктики (Якутия) дают более крупные озера, чем в Дальневосточной арктической зоне (Чукотка и Камчатка), что может свидетельствовать о значительном различии геоэкологических условий на разных арктических территориях восточной части Российской Арктики.

Ключевые слова: вечная мерзлота, космические снимки, термокарстовые озера, Российская Арктика.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ по проекту № 22-11-20023.

Термокарстовые озера, занимая лишь небольшую часть земной поверхности, вследствие усиленной биохимической активности являются интенсивными источниками эмиссии парниковых газов в атмосферу [1,2]. Объемы эмиссии в атмосферу озера метана на исследуемой территории определяются суммарной площадью озер на этой территории. Поэтому важной с точки зрения оценки объемов накопления озера метана рассматривается задача исследования закономерностей распределения термокарстовых озер по их размерам на различных территориях. Ввиду труднодоступности и высокой заболоченности территории в зонах мерзлоты для получения таких данных используются спутниковые снимки.

В последнее время проведены дистанционные исследования распределения площадей термокарстовых озер в Сибири, на Аляске и в некоторых других северных регионах. В большинстве этих исследований использовались космические снимки среднего пространственного разрешения (30 м) Landsat, обеспечивающие многократное полное покрытие земного шара. Но на этих снимках не обнаруживаются озера малых размеров. Поэтому полученные по этим данным эмпирические распределения площадей озер не учитывают вклад малых термокарстовых озер, концентрация метана в которых, согласно [2], более чем на порядок превышает его концентрацию в озерах с размерами более 0,1-0,5 га. В ряде работ, например, [3], для исследования распределений термокарстовых озер в зоне мерзлоты использовались снимки высокого разрешения, которые, однако, из-за малой полосы охвата территории обеспечивают сравнительно небольшое покрытие исследуемой территории, что позволяет исследовать распределение озер лишь на ограниченных по размерам территориях в пределах тестовых (ключевых) участков. Поэтому возникла необходимость объединения (интеграции) данных о численности и площадях озер, получаемых на исследуемой территории по спутниковым снимкам различного (среднего, высокого и сверхвысокого) пространственного разрешения.

В [4] разработана методика интеграции данных со спутников разного разрешения для построения гистограмм распределения озер по размерам. С использованием этой методики получены оценки запасов метана и углекислого газа в термокарстовых озерах на территориях криолитозоны Западной Сибири [5] и северо-востока Европейской части Российской Арктики [6]. Однако получение аналогичных оценок запасов парниковых газов в термокарстовых озерах на обширной, но недостаточно изученной, территории восточной части Российской Арктики не представляется возможным из-за отсутствия в настоящее время знаний о распределении озер на указанной территории.

В связи с этим целью данной работы является экспериментальное изучение численности озер по размерам на восточных арктических территориях России – в северо-восточных тайге и тундре (Якутия) и в чукотской и беринговой тундрах – по спутниковым снимкам различного пространственного разрешения Sentinel-2 и Канопус-В.

Данные и методы исследования

Исследуемая территория площадью 2 182 000 км² простирается примерно на 2500 км с запада на восток и 1200 км с севера на юг. Согласно [7], территория располагается в зонах арктического и субарктического климатических поясов. Средняя температура в январе изменяется от -27 (Чукотка) до -44 °С (Северная Якутия). Средняя температура июля изменяется от 4 °С до 15 °С. На территории исследования широко распространены многолетнемерзлые породы, достигающие на северо-востоке Якутии наибольшей (до 500 м) мощности при постоянной температуре -10 °С и сравнительно тонком (от 30 до 100 см) активном слое сезонного протаивания. Территория подстилается непрерывной вечной мерзлотой, среднегодовая температура грунтов которой, по данным [7], изменяется в пределах от -3 до -7 °С. Годовая сумма осадков колеблется от 150 до 600 мм. Криолитозона восточной части Российской Арктики отнесена к числу районов с повсеместным распространением термокарстовых озер, которые характеризуются чрезвычайно широким диапазоном изменений их размеров – от единиц м² до десятков км².

Исследуемая территория расположение которой показано на рис. 1, была разделена на сравнительно однородные по ландшафтным и геоэкологическим свойствам области, называемые далее арктическими экорегионами: северо-восточная тундра (СВТ), северо-восточная тайга (СТ), берингова тундра (БТ) и чукотская тундра (ЧТ).



Рисунок 1. Территория исследований в восточной части Российской Арктики с обозначенными границами арктических экорегионов

Экспериментальное изучение распределения площадей термокарстовых озер на исследуемых арктических территориях проведено с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения Канопус-В (разрешение 2,1 м) и снимков Sentinel-2 среднего разрешения (20 м), полученных в летние месяцы 2017-2021 гг. Все снимки были отобраны в довольно

короткий период летнего сезона (конец июня – август), чтобы минимизировать влияние сезонных колебаний уровня воды в озерах. В этот период озера практически свободны от ледового покрова, затрудняющего выделение озер в процессе дешифрирования снимков. Обработка космических снимков, проведенная с использованием стандартных средств геоинформационной системы QGIS 3.22, была направлена на получение данных о числе и площадях озер с существенно различающимися размерами

Для изучения закономерностей распределения озер по размерам были построены гистограммы распределения площадей озер в широком диапазоне их размеров (от 50 до 10^8 м²) в разных арктических экорегионах востока Российской Арктики. Для построения таких гистограмм использовалась методика интеграции данных о числе озер со снимков различного разрешения, изложенная в [4].

В качестве основы для требуемой гистограммы распределения озер сравнительно больших размеров использована исходная гистограмма распределения озер по размерам, определенная по мозаике снимков Sentinel-2 за период с 2017 по 2021 гг. Минимальный размер выделяемых на этих снимках озер был выбран равным 2×10^3 м², соответствующий размеру площади в 5 пикселей, что позволяет достаточно достоверно выделять водные объекты на снимке. Полученные данные о числе озер на исследуемой территории, распределенные в соответствии с [4] по частичным интервалам площадей в логарифмическом масштабе, представлены в виде первой исходной гистограммы распределения площадей озер с размерами от 2×10^3 до 10^8 м².

Для учета в гистограмме озер с размерами менее 2×10^3 м² предусмотрено получение по снимкам Канопус-В высокого разрешения другой исходной гистограммы, включающей и озера малых размеров, не обнаруживаемые по снимкам Sentinel-2. На этом этапе для получения данных дистанционного исследования по снимкам Канопус-В использовался метод тестовых (ключевых) участков. Обработка этих снимков проводилась средствами QGIS 3.22 на сценах и в границах 12 тестовых участков (ТУ), число которых в исследованных экорегионах приведено в табл. 1. Выбранные тестовые участки во всех экорегионах имели приблизительно одинаковые размеры около 3000 га (30 км²).

Результаты и их обсуждение

Общая характеристика проведенных исследований и полученных данных о размерах и количестве озер на территориях исследованных экорегионов дана в табл. 1. В таблице приняты следующие обозначения: СВТ – Северо-Восточная тундра; СТ – Северо-Восточная тайга; ЧТ – чукотская тундра; БТ – берингова тундра. Степень заозеренности определялась как отношение суммарной площади озер на определенной территории к площади этой территории. Как следует из табл. 1, степень заозеренности и суммарная площадь озер на территории СВТ в несколько раз выше, чем в других экорегионах.

Таблица 1. Общая характеристика проведенных исследований озер в разных экорегионах

<i>Показатель</i>	<i>СВТ</i>	<i>СТ</i>	<i>ЧТ</i>	<i>БТ</i>
Площадь экорегиона, км ²	249 144	1 327 573	308 728	410 824
Число ТУ на снимках Канопус-В	8	10	4	9
Количество озер по данным Sentinel-2	569 733	364 436	1 105 470	309 426
Суммарная площадь озер, км ²	29 307	24 974	4 685	7 531
Степень заозеренности	0,122	0,025	0,018	0,020

Для исследования зависимости численности озер от их размеров на рис. 2 представлено семейство графиков гистограмм распределения числа термокарстовых озер по интервалам их размеров на территориях исследованных восточных экорегионов. Как видно из рис. 2, графики демонстрируют сходный в общем характер поведения, проявляющийся в увеличении численности озер с уменьшением их размеров на территории всех исследуемых экорегионов. Однако графики гистограмм для разных экорегионов проявляют индивидуальные особенности. Для рассмотрения этих особенностей выделим на оси абсцисс три диапазона размеров озер:

- 1) менее 10^3 м² (0,1 га) – малые озера;
- 2) от 10^3 до 10^5 м² – средние по размерам озера;

3) более 10^5 м^2 (10 га) – большие озера.

В диапазоне больших озер, как видно из рис.2, графики гистограмм показывают существенные различия в числе озер в одних и тех же интервалах площадей озер. Отметим, что в диапазоне больших озер в СВТ и СТ по сравнению с экорегионами ЧТ и БТ превышение числа озер в совпадающих интервалах их площадей составляет от нескольких до десятка раз и более. Этот вывод можно интерпретировать как проявление более существенного вклада больших озер в гистограмму распределения озер по размерам в тундре и тайге Якутии по сравнению с чукотской и беринговой тундрами.

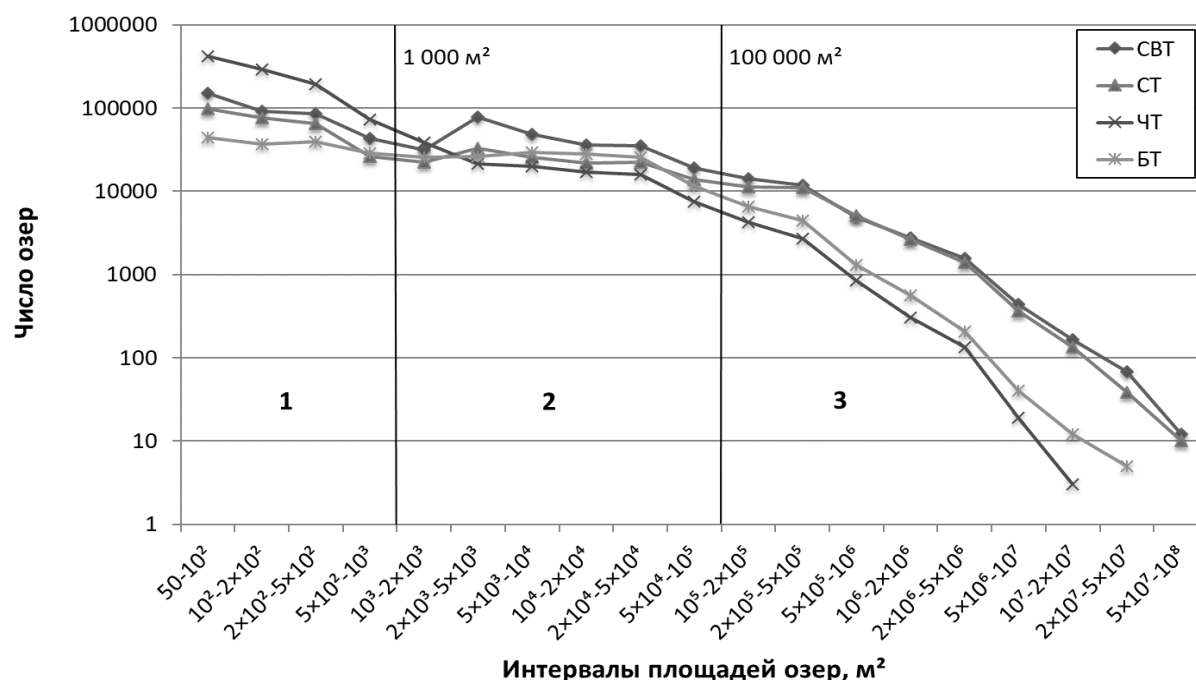


Рисунок 2. Гистограммы распределения числа термокарстовых озер по интервалам их размеров на территориях исследованных экорегионов восточной части Российской Арктики на основе снимков Канопус-В и Sentinel-2. Полушжирными цифрами 1, 2 и 3 обозначены диапазоны размеров озер

В диапазоне малых озер графики для обоих якутских экорегионов в Восточно - Сибирской Арктике (ВСА), как и в случае с диапазоном больших озер, близки по числу озер. А вот графики для экорегионов Дальне - Восточной Арктики (ДВА) значительно различаются. При этом численность озер ЧТ в несколько раз превышает число озер БТ в совпадающих интервалах их площадей. Этот результат можно интерпретировать как проявление более существенного вклада малых озер в общую численность озер ЧТ по сравнению с БТ. Этот вывод подтверждается и данными табл. 1, согласно которым при меньшей в 1,6 раза суммарной площади озер ЧТ по сравнению с БТ, численность озер в ЧТ более чем в 3,5 раза превышает эту величину в БТ. Следовательно, это можно объяснить тем, что на территории ЧТ по сравнению с БТ существенно преобладают малые озера.

В диапазоне промежуточных значений размеров озер, обозначенном цифрой «2» на рис. 2, изменения числа озер слабо зависят от размеров, и разброс значений на графиках гистограмм для разных экорегионов становится несущественным, по крайней мере, по сравнению с разбросом в диапазонах малых и больших озер.

В порядке обсуждения полученных результатов заметим, что заозеренность территории северо-восточной тундры, по данным табл. 1, в 5-7 раз больше, чем в остальных исследованных экорегионах. Несмотря на это, гистограмма распределения числа озер в ВСА по виду не отличается от графиков гистограмм на других территориях, что позволяет сделать вывод об однородности статистической структуры полей термокарстовых озер на арктических территориях востока Российской Арктики. Обращает на себя внимание, по данным рис. 2, что максимальные величины суммарных площадей озер в ВСА в диапазоне больших озер почти на порядок превышают аналогичные значения в экорегионах ДВА. Следовательно, основной вклад в суммарную площадь озер Восточно-Сибирской Арктики дают значительно более крупные озера, чем в Дальне-Восточной арктической зоне. Это может

свидетельствовать о различии геокриологических свойств рассматриваемых арктических зон востока Российской Арктики.

Как было отмечено выше, объем накопления парниковых газов в термокарстовых озерах исследуемой территории пропорционален суммарной площади озер на этой территории. Это позволяет на основе изложенных выше результатов анализа графиков на рис. 2 сделать вывод о том, что объемы накопления метана и углекислого газа в озерах Восточно-Сибирской Арктики значительно превышают их объемы в озерах на территории Дальне-Восточной арктической зоны.

Литература

1. Serikova S., Pokrovsky O.S., Laudon H., Krickov I.V., Lim A.G., Manasypov R.M., Karlsson J. High carbon emissions from thermokarst lakes of Western Siberia // *Nature Communications*. 2019. 10(1): 1552. DOI: 10.1038/s41467-019-09592-1.
2. Pokrovsky O.S., Shirokova L.S., Kirpotin S.N., Audry S., Viers J., Dupre B. Effect of permafrost thawing on the organic carbon and metal speciation in thermokarst lakes of Western Siberia // *Biogeosciences*. 2011. vol. 8. P. 565-583.
3. Grosse G., Romanovsky V., Walter K., Morgenstern A., Lantuit H., Zimov S. Distribution of thermokarst lakes and ponds at three yedoma sites in Siberia // *Proc. of the 9th Intern. Conf. on Permafrost* (June 29 – July 3, 2008). Fairbanks, Alaska. 2008. P. 551–556.
4. Полищук Ю.М., Богданов А.Н., Брыксина Н.А., Муратов И.Н., Полищук В.Ю. Интеграция космических снимков сверхвысокого и среднего разрешения для построения гистограмм распределения площадей термокарстовых озёр в расширенном диапазоне их размеров // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т.16. № 3. С. 9-17.
5. Polishchuk Y.M., Bogdanov A.N., Muratov I.N., Polishchuk V.Y., Lim A., Manasypov R.M., Shirokova L.S. and Pokrovsky O.S. Minor contribution of small thaw ponds to the pools of carbon and methane in the inland waters of the permafrost - affected part of the Western Siberian lowland // *Environmental Research Letters*. 2018. Vol. 13. 045002. P. 1–16. DOI: 10.1088/1748-9326/aab046.
6. Zabelina S., Shirokova L., Klimov S., Chupakov A., Lim A., Polishchuk Y., Polishchuk V., Bogdanov A., Muratov I., Guerin F., Karlsson J., and Pokrovsky O. Carbon Emission from Thermokarst Lakes in NE European Tundra // *Limnology and Oceanography*. 2020. 9999. P. 1–15. DOI: 10.1002/Ino.11560.
7. Котляков В.М., Хаин В.Е., Гуцуляк В.Н., Данилов А.И. Арктика // *Большая российская энциклопедия*. Электронная версия (2020). URL: <https://old.bigenc.ru/geography/text/3452274> (дата обращения: 23.05.2023).

STUDY OF THE SIZE DISTRIBUTION OF ARCTIC LAKES IN NORTHEAST RUSSIA BASED ON THE INTEGRATION OF SENTINEL-2 AND KANOPUS-V IMAGES

Yury M. Polishchuk, Ildar N. Muratov, Oksana A. Baysalyamova

Ugra Research Institute of Information Technology, Khanty-Mansiysk, 628011, Russia

The studies were conducted in the Arctic territories of Yakutia, Chukotka, and Kamchatka, which represent relatively homogeneous areas in terms of natural properties, called ecoregions. The space images of Kanopus-B and Sentinel-2 (with spatial resolution of 2.1 and 20 m, respectively) obtained during the summer months of 2017-2021 were used. We briefly describe the methodology of integrating data from Canopus-B and Sentinel-2 images to plot synthesized histograms of lake distribution by size, which allowed us to obtain histograms of lake distribution in a very wide range of their sizes from 50 to 108 m². It was shown that the main contribution to the number of lakes in the Northeastern Arctic (Yakutia) is made by larger lakes than in the Far Eastern Arctic zone (Chukotka and Kamchatka), which may indicate a significant difference in the geocryological conditions in different Arctic territories of the eastern part of the Russian Arctic.

Keywords: permafrost, space images, thermokarst lakes, Russian Arctic

This work was supported by a grant from the Russian Science Foundation under project no. 22-11-20023

ГРАФ ЭМИССИЙ ВРЕДНЫХ И ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

доц., к.т.н. Лаптева А.В.¹, проф., д.т.н., проф. Лисиенко В.Г.², доц., к.т.н., доц. Чесноков Ю.Н.², доц., к.т.н. Щелоков Я.М.³

¹Уральский государственный экономический университет

²Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

³СРО19 «Союз «Энергоэффективность»

Важным параметром для оценки различных комплексов технологий производства одного и того же продукта являются сквозные эмиссии (полные выбросы) вредных веществ и парниковых газов. Сквозная эмиссия является суммой эмиссий газов, существующих во всех процессах изготовления изделия, начиная с добычи природных ресурсов. Эта эмиссия для каждого процесса технологической цепи является суммой эмиссии этого процесса и транзитной эмиссии (косвенных выбросов), пересчитанной с предыдущих процессов. Данные по эмиссиям вредных веществ и парниковых газов имеют также большое значение для выбора наилучшей доступной технологии. Определение таких эмиссий предложено вычислять на основе аппарата размеченных графов эмиссий. Граф эмиссий легко получить из технологической схемы. Процессам или ресурсам этой схемы поставлены в соответствие вершины графов. Вершины графа соединены дугами согласно связям процессов, которым соответствуют вершины. В вершинах указываются значения эмиссий процесса или процесса и сквозных. У дуг проставляются значения расходов ресурсов. Графы эмиссий обладают наглядностью и позволяют автоматизировать процесс оценки эмиссий вредных веществ или парниковых газов.

В литературе, посвященной производству металлов, приводятся технологические схемы [1]. В этих схемах перечислены процессы и/или ресурсы, расположенные в последовательности их выполнения и получения.

На схеме пунктирные стрелки соответствуют цепочкам агрегатов и ресурсов, которые здесь не изображены. Например, после взрывных работ следуют транспортные процессы. Прежде чем электроэнергия поступит на электродуговую печь с электростанции произойдет много процессов ее преобразования по напряжению. На схеме в прямоугольниках перечислены как процессы, так и ресурсы. При этом смысл таких перечислений очевиден. Вместо «Агломерат» можно написать «Агломерационная машина», а на выходе этой машины указать ресурс «Агломерат», аналогично «Чугун».

В общем случае в i -ом процессе образуются эмиссии (выбросы) вредных и парниковых газов $E_{ВВi}$, $E_{ПГi}$. (здесь ВВ и ПГ можно заменить химической формулой соответствующего газа). Для сравнения различных технологий в настоящее время представляет интерес значение сквозных эмиссий (полных выбросов) при производстве того или иного продукта. Такая эмиссия парниковых газов получила наименование «углеродный след». В этом случае для каждого процесса рассматривают эмиссию собственно процесса E_{Pi} и доли эмиссий предыдущих процессов, которые перешли на анализируемый процесс – транзитные эмиссии (косвенные выбросы) E_{Tri} . Сквозная эмиссия E_{Thi} для i -го процесса удовлетворяет соотношению:

$$E_{Thi} = E_{Pi} + E_{Tri} = E_{Pi} + \sum_{k \in K} (\Psi_{ik} E_{Thk}), \quad (1)$$

где Ψ_{ik} – расход ресурса с процесса k на процесс i ; E_{Thk} – сквозная эмиссия k -го процесса; K – множество номеров процессов, связанных с i -м процессом.

Технологическая схема дает четкое представление о совокупности процессов. Из нее следует что нужно и куда. Эта схема может иметь разные количества уровней, иметь параллельные и последовательные процессы и разнообразные разветвления. Однако для технологической схемы не определено никакого математического аппарата. Переход от технологической схемы к графу можно отобразить дополнительной информацией по расходам, эмиссиям и др.

В электротехнике, в теории автоматического регулирования нашли применение сигнальные графы, которые позволяют вычислять характеристики заданных вершин [2, 3]. По аналогии для вычисления значения полной (сквозной) эмиссии вредных или парниковых газов целесообразно представить технологическую схему в виде ориентированного размеченного графа эмиссий [4, 5]. В этом графе всем дугам и вершинам поставлены в соответствие числа. Формально граф – это совокупность двух множеств: множества вершин и множества связей между ними. В размеченном графе имеются еще два множества меток связей и вершин.

Вершины графа эмиссий соответствуют процессам или агрегатам, реализующим эти процессы. Связи графа соответствуют потокам ресурсов между процессами. Графическое представление этих множеств называется диаграммой графа. Связи в ориентированном графе именуются дугами и на

диаграмме изображаются стрелками.

Граф эмиссий древовидный, не планарный, т.е. его диаграмму невозможно изобразить без пересекающихся дуг. В отличие от сигнальных графов в каждой вершине графа эмиссий имеется метка-число – аналог сигнала. Смысл этих меток описан ниже. В графе эмиссий не рассматриваются контуры, хотя в технологических схемах возможны возвраты ресурсов на предыдущие процессы. Однако возвращаемые ресурсы имеют отличающиеся характеристики от ресурсов, поступающих напрямую. Например, возврат в паллеты агломерационной машины мелкого агломерата. Такой возврат не влияет существенно на эмиссию оксида углерода. Кроме того, эти возвраты образуют положительные обратные связи, что затрудняет их учет.

Дуги. Веса дуг Ψ_{ik} , идущих из вершины k в вершину i , определяются удельными расходами ресурсов в т или м³, зависит от размерности эмиссии в вершине, из которой исходит дуга (ед. массы /ед. продукции или объема /ед. продукции).

Вершины графа первого вида. Следует рассматривать два вида графа эмиссий в зависимости от вида данных, указанных в вершинах. В вершинах графа эмиссий первого вида указываются эмиссии процессов Ξ_{pk} , $k = 1, 2, \dots, N$ которым соответствуют эти вершины.

$$E_{Thi} = E_{Pi} + E_{Tri} = E_{Pi} + \sum_{k \in M} \left(E_{Thk} \sum_{j=1}^n W_{ikj} \right), \quad (2)$$

где M – множество вершин, из которых i -я вершина доступна, т.е. из них имеются пути в i -ю вершину; n – количество путей между i -ой и j -ой вершинами; W_{ikj} – передача j -го пути из вершины k в вершину i , равная произведению расходов ресурсов, указанных на дугах пути

$$W_{ikj} = \prod_{l=1}^m \Psi_l, \quad (3)$$

где l – номер дуги в пути; m – количество дуг в пути.

Поиск путей в графе вручную достаточно сложен и не надежен. Известны программы для вычислительных машин, выполняющих поиск путей в графе.

Вершины графа эмиссий целесообразно пронумеровать от 1 до N .

Вершины графа второго вида. В вершинах графа эмиссий второго типа указана эмиссия процесса (или прочерк для сторонних процессов) и через косую черту сквозная эмиссия процесса, которому соответствует вершина.

Сквозные эмиссии процесса вычисляются по формуле (1). Расчеты следует начинать с вершин, соответствующих самым первым ресурсным процессам. Такие расчеты можно выполнять без использования вычислительной техники.

Применение графа эмиссий обладает наглядностью, возможностью выявить критические процессы, пути, а также позволяет автоматизировать расчетные процессы.

Сквозная эмиссия NO коксовой батареи $E_{Th3}=0,8+0,04 \cdot 1,4=0,856$ кг/т кокса. Для агломерационной машины получим $E_{Th4}=0,15+0,05 \cdot 0,9+0,856 \cdot 1,3=1,3$ кг/т агломерата. Для чугуна имеем $E_{Th5}=0,02+1,3 \cdot 1,3+0,856 \cdot 0,5=2,15$ кг/т чугуна. Сквозная эмиссия оксида азота для стали $E_{Th6}=0,05+2,15 \cdot 0,8=1,77$ кг/т стали.

Эти расчеты выполнены с использованием графа эмиссий второго типа.

По диаграмме графа первого типа найдем пути и их передачи в вершину $i=6$ из всех других вершин:

$W_{651}=0,8$; $W_{641}=1,3 \cdot 0,8=1,04$; $W_{631}=1,3 \cdot 1,3 \cdot 0,8=1,352$; $W_{632}=0,5 \cdot 0,8=0,4$;
 $W_{621}=1,4 \cdot 1,3 \cdot 1,3 \cdot 0,8=1,893$; $W_{622}=1,4 \cdot 0,5 \cdot 0,8=0,56$; $W_{611}=0,9 \cdot 1,3 \cdot 0,8=0,936$.

По формуле (1) найдем сквозную эмиссию NO для стали из кислородного конвертора, кг/т стали: $E_{Th6}=0,05+0,02 \cdot 0,8+0,15 \cdot 1,04+0,8 \cdot (1,352+0,4)+0,04 \cdot (1,893+0,56)+0,05 \cdot 0,936=1,7685$.

Здесь рассмотрен простой граф. Для сложного графа подобные вычисления без использования вычислительной техники вызвали бы затруднения.

При построении этого графа все эмиссии CO₂ были отнесены к агрегатам, образующим вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) [6]. Такими агрегатами являются косовая батарея (образует коксовый газ) и доменная печь (образует доменный газ). Эти ВЭР сгорают в котлах местных электростанций, нагревательных печах, свечах, образуя диоксид углерода. Углерод, выгорающий из чугуна в электродуговой печи или кислородном конверторе, поступил из доменной печи, если она выпускает только передельный чугун. Следовательно, его можно также отнести к доменной печи.

Оценка эмиссии при выплавке стали сводиться к определению масс углерода, сгоревшей в доменной печи и перешедшей в коксовый газ.

Заключение

Сквозные эмиссии (полные выбросы) вредных веществ и парниковых газов являются важным параметром для оценки различных комплексов технологий производства одного и того же продукта. Эти данные имеют также большое значение для выбора наилучшей доступной технологии.

Определение таких эмиссий целесообразно вычислять, используя аппарат размеченных графов эмиссий. Вершинам этих графов соответствуют процессы или ресурсы, производимые в этих процессах, а дуги соединяют вершины связанных процессов. В вершинах указываются значения эмиссий процесса или процесса и сквозных. У дуг проставляются значения расходов ресурсов. Графы эмиссий обладают наглядностью и позволяют автоматизировать процесс оценки эмиссий вредных веществ или парниковых газов.

Литература

1. Тарасов А.В. Общая металлургия / А.В. Тарасов, Н.И. Уткин. – М. : Металлургия, 1997. – 592 с.
2. Матханов П.Н. Основы анализа электрических цепей. Линейные цепи / П.Н. Матханов. – М. : Высш. шк., 1990. – 400 с.
3. Вавилов А. А. Машинные методы расчета систем управления / А. А. Вавилов, Д. Х. Имаев. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 232 с.
4. Чесноков, Ю. Н. Разработка графов эмиссии диоксида углерода металлургическими предприятиями / Ю. Н. Чесноков, В. Г. Лисиенко, А. В. Лаптева. // Металлург. – 2012. – № 12. – С. 23–26.
5. Трофимова О. Г. ТЭЧ-графы в анализе металлургических переделов / О. Г. Трофимова // Сборник «Инновации в материаловедении и металлургии» Материалы IV Международной интерактивной научно-практической конференции. – Екатеринбург : Федеральное государственное автономное образовательное учреждение Высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Институт материаловедения и металлургии, 2015. – С. 99-102.
6. Чесноков, Ю. Н. Математические модели косвенных оценок эмиссии CO₂ в некоторых металлургических процессах / Ю. Н. Чесноков, В. Г. Лисиенко, А. В. Лаптева // Сталь. – 2011. – № 8. – С. 74–77.

COLUMNS OF EMISSIONS OF HARMFUL AND GREENHOUSE GASES

Lapteva A.V.¹, Lisienko V.G.², Chesnokov Yu.N.², Shchelokov Y.M.³

¹Ural State University of Economics

²Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

³Self-regulatory organization "Union" Energy efficiency "

An important parameter for evaluating different complexes of technologies for the production of the same product is end-to-end emissions (total emissions) of harmful substances and greenhouse gases. End-to-end emission is the sum of the emissions of gases that exist in all product manufacturing processes, starting with the extraction of natural resources. This emission for each process of the process chain is the sum of the emission of this process and the transit emission (indirect emissions) recalculated from previous processes. Data on emissions of harmful substances and greenhouse gases are also of great importance for choosing the best available technology. The definition of such emissions is proposed to be calculated on the basis of the apparatus of marked emission graphs. The emission graph is easily derived from the flow chart. The processes or resources of this scheme are mapped to the vertices of the graphs. The vertices of the graph are connected by arcs according to the process relationships to which the vertices correspond. The vertices indicate the values of process emissions or process and end-to-end. The arcs have resource expenditure values. Emission graphs have clarity and allow you to automate the process of assessing emissions of harmful substances or greenhouse gases.

ON SOME OPTICAL METHODS FOR WATER QUALITY MONITORING

Mkrtchyan F.A., Soldatov V.Yu., Mkrtchyan M.A.

Fryazno Branch of the Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics RAS

This paper discusses to use use of optical instruments for the diagnosis of water objects is based on the analysis of the reflected emissions in both photometry and ellipsometry when evaluating the optical parameters of the object to be studied. Ellipsometry provides relative variations in the amplitudes and phases of the components of the electromagnetic wave vector in and along its field of incidence. The light propagation parameters through the water layer recorded by the respective photo-receiver provide the absorption spectrum of the water body, which allows a detection of the presence of a specific pollutant and the measurement of its concentration. In this work, an automated information modeling instrumental system (AIMIS) based on a modified photometer-refractometer has been developed. The possibility of using AIMIS for monitoring Lake Sevan is shown.

Keywords—Water system, Monitoring, Spectrophotometry, Spectroellipsometry, Inverse task, Spectral characteristics, Sensor, Identification

Introduction

The water quality testing procedure usually aims to preserve and protect environmental water resources that are important to human safety. Different equipment is used to carry out this procedure. Existing water quality testing equipment is oriented towards measuring a restricted set of water characteristics such as turbidity, dissolved oxygen, conductivity, pH and other parameters. The pollutants concentration in the water environment is assessed using different chemical agents that need the consumables. Despite the numerous presence of instruments for water quality testing, the creation of new technologies and approaches to solve problems arising here is real [4, 6, 9, 10, 11] propose new instrumental tools for water quality testing using optical effects that enable water quality monitoring practically in real time and without sampling and laboratory analysis.

The traditional approach to the monitoring of the hydrophysical and hydrochemical system is based on water and soil sampling based on which the series of water empirical characteristics is synthesized and then a mathematical model is developed for the description of the structural and dynamical changes of the system under study. One of the problems arising in this way relates to the practically non-removable information uncertainty as a result of the fragmentation of the irregularity of the monitoring data. Addressing this problem is provided by the development of big data processing tools [12].

The assessment of liquid quality and methods for its testing in the Earth's conditions dominate the standards based on the use of special manufacturers, sensors, and chemical reagents. A variety of existing methods for testing liquids in the Earth's conditions are not associated with significant difficulties.

Optical sensors for monitoring water quality record the brightness of the light flux after it passes through the water layer. Photometric sensors provide a spectrum of light attenuation in the water layer. Ellipsometric sensors provide two spectra for vertical and horizontal polarization. Spectroellipsometry is the pinnacle of optical polarization. The creation of multichannel polarization optical instrumentation and the use of spectroellipsometric technology are very important for real-time ecological monitoring of the aquatic environment. Spectroellipsometric devices give us high precision of measurements. Spectroellipsometric and their multichannel measurements in an aquatic environment provide the basis for the application of modern algorithms for the recognition and identification of pollutants [1,2,3]. New prototype elements (coaxial polarization switchers and achromatic compensators), developed at the Institute of Radio Engineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences, allow the design of inexpensive polarization systems, such as spectroscopic ellipsometers, polarization spectrometers, polarimeters, dichrometers, polarization microscopes and interferometers, sensitive photometers, and differential reflectometers without expensive standard polarization elements.

Most applications of ellipsometry use the ellipsometric angles Ψ and Δ which depend on the complex ratio ρ of the reflection coefficients R_p and R_s of the surface for light polarized in the p and s directions, respectively:

$$\rho = \frac{R_p}{R_s} = \tan(\Psi) \exp(i\Delta)$$

Spectroellipsometric measurements are mainly performed to solve problems arising in solid-state physics, including microelectronics. In common cases, spectroellipsometric measurements have a universal character that makes it possible to use of spectroellipsometric tools for the water quality diagnosis. The advantage of optical sensors compared to microwave sensors is their ability to be located both above the water surface and in water media. Certainly, real optical sensors are constructed to be oriented towards solving

specific problems of hydrochemical monitoring. Relevant applications of optical sensors include but are not limited to:

- water sample diagnostics;
- continuous analysis of target compounds, including sewage and industrial drainage; and
- dissemination of water environment diagnostics using flying platforms.

The precision of the optical sensors is determined both by the accuracy of the spectral values and by the reliability of final results of the water media diagnostics which depends on the spectral data processing. The spectrophotometer and spectroellipsometer yield the spectral curve $S(\lambda)$ and spectral curves $S_{\Psi}(\lambda)$ and $S_{\Delta}(\lambda)$, respectively. General aspects of optical diagnostics of water media include analysis of spectral curve properties based on the use of specific algorithms and models [5, 7].

About Optical Sensors for Water Quality Monitoring

Diagnostics of the water quality in the rivers, lakes and seas are realized by multiple techniques depending on the analysis of surface water, groundwater, drinking water, and wastewater. Choice of instrumental tools is defined by the in-situ or laboratory measurements. The In-situ water monitoring instruments include drift-resistant sensors and active and passive antifouling systems. Laboratory methods usually are based on the measurement of concentration of different contaminants in the water sample. Under this the sample source is taking into account: irrigation, industries, domestic or natural water bodies.

In [8] new approach to the water quality monitoring was proposed and validated basing on the information-modeling instrumental technology when optical and microwave remote sensing sensors are used. It is known that photometers and reflectometers widely are used for the measurements of the water optical characteristics. The problems are arisen when water pollutants have small concentration or signal/noise relation has small value. In this case an overcoming of this problem is realized by the using the light-emitting diodes.

Fig. 1 shows principal structure of new version of the photometer-refractometer from 8 light-emitting diodes (LED) with peak wavelength at the range 365-780 nm. The light-emitting diodes are located on the disk 2 connected with the stepping motor 1. A short-focus lens 3 forms the image for the emitting LED using the spatial filtration element 4. A glass plate 5 derives a part of the light flux to the lens 6 and optical detectors 7 and 16. The lens 8 forms a narrow collimated beam passing through the cuvettes 9 and 10 filled with the water solution sample. Fig. 2 represents general view of the automated information-modeling system (AIMIS).

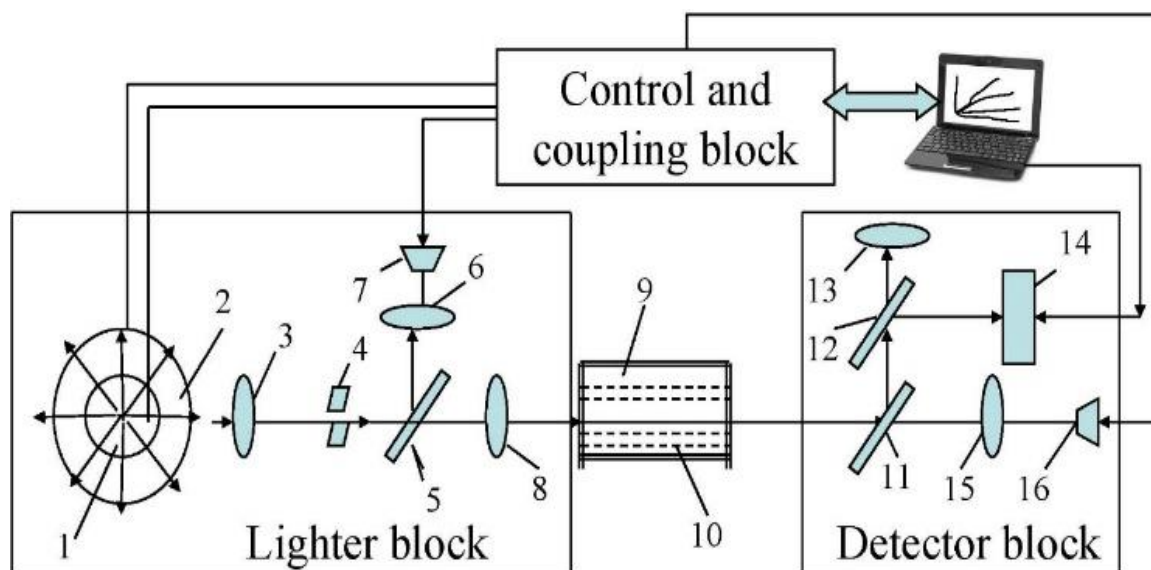


Fig. 1. Principal scheme of the adaptive information-modeling instrumental system (AIMIS).



Fig. 2. General view of the AIMIS.

Precision of the refraction coefficient assessment is 0.0003 and depends on the quality of dividing plate 12, ocular 13 and mega-pixel USB camera 14.

The AIMIS delivers spectral image for the tested liquid that is used for the recognition of liquid type and assessment its quality. The AIMS provides the measurements of spectrums with precision 1% and sensitivity 0.01%. Characteristics of 35-channel spectroellipsometer are given in Table 1.

Table 1. Technical Characteristics of the Spectroellipsometer

Characteristic	Value
Time of light flux registration, sec.	0.15
Precision of the measurement:	
parameter Δ , degrees	0.02
parameter ψ , degrees	0.01
Conditions for the expluatation:	
temperature range, °C	15-35
relative air humidity, %	≤ 95
Weight, kg	≈ 4
Long-time stability, degrees	0.001
Spectral range, nm	380-930

Invers Task Solusion

A knowledge of spectrums delivered by the AIMIS allows the making three simple decisions:

- a liquid corresponds to the quality standard;
- a liquid does not correspond to the quality standard; and
- a liquid quality is not defined.

Algorithmic and functional possibilities of the AIMIS allow two approaches to the liquid diagnostics:

- 1) Single-component liquid solution is represented with series of spectrums and its diagnostics is realized by means of the recognition algorithm what allows the assessment of the contaminant concentration. It is determined by means of interpolation between spectrums accumulated in the AIMIS database.

- 2) Multi-component liquid solution is diagnosed with the direct solution of inverse task of spectroellipsometry when the assumption about functional dependence of the spectrum on the wavelength and concentration is accepted.

Two algorithms are considered to be the covering for above situations. First algorithm the spectral image identification of studied liquid solution is realized by means of the contrast assessment between its and series of the indicator-etallons from the AIMIS database. This function is realized by the SIR block.

Spectral image of the liquid solution is represented by one vector $y = \{y_1, \dots, y_n\}$ when measurements are realized with the spectrophotometer and by two vectors y and $z = \{z_1, \dots, z_n\}$ when measurements are realized with the spectropolarimeter. In second case vector y represents the light intensity on the photo-detector and vector z represents relative shift of two phases of two orthogonal polarized components. In this case $y_i = \cos \Delta(\lambda_i)$, $z_i = \tan \psi(\lambda_i)$ where Δ and ψ are ellipsometric angles reflecting the relation of the complex

amplitude coefficients of the parallel and vertical polarizations at the wavelength λ_i , respectively. Identification of the unknown spectral image is realized by means of the search of the spectrums in the database which have minimal distance from unknown image. Integral distance between spectrums is assessed by means of calculation of average deviations. Unknown image $x=\{x_1, \dots, x_n\}$ is identified by means of the following condition:

$$\delta = \frac{1}{4m} \left\{ \sum_{j=1}^m |z_j - B_j^{\Delta,i}| + \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_j - B_j^{\Delta,i})^2} + \sum_{j=1}^m |y_j - B_j^{\Psi,i}| + \sqrt{\sum_{j=1}^m (y_j - B_j^{\Psi,i})^2} \right\}$$

where $\{B_j^{\Delta,i}\}$ and $\{B_j^{\Psi,i}\}$ are known spectrums from the AIMIS database, in this case $m=n$.

Practically a current task consists in the unknown signal detection on the noise background. One approach to solve this task is the using the procedure of the spectrum conversion to the vector space defining its image by means of series characteristics:

- B_1 is the area under spectral curve;
- B_2 and B_3 are the maximal and minimal ordinates of spectrum, respectively;
- B_4 is the distance between maximal and minimal values of spectral curve;
- B_5 is the number of maximums of spectrum;
- B_6 and B_7 are the maximal and minimal values of first derivative of spectrum, respectively;
- B_8 is the value of spectrum ordinate under the given wavelength;
- B_9 and B_{10} are the minimal and maximal values of second derivative of spectrum, respectively.

Examples of such vectors are shown in Table 2 for the water solutions of the copper sulfate (CuSO_4 , 10%) and zinc sulfate (ZnSO_4 , 1%). Spectral images of solutions are represented in Figs. 3 and 4.

Thereby, the inverse task is reduced to the recognition in the vector space. It can be realized with the using cluster analysis, linear interpolation and by the algorithms of the distance calculation in the vector space.

Table 2. Vector-identifier of two liquid solutions.

Identifier components	CuSO_4 (10%)		ZnSO_4 (1%)	
	Δ	Ψ	Δ	Ψ
B_1	21.6	43.1	0.61	334.7
B_2	0.17	0.89	0.01	0.98
B_3	0.1	0.04	0	0.97
B_4	143	201	196	329.1
B_5	2.0	3.0	4.0	2.0
B_6	0.67	0.59	0.13	0.03
B_7	0	-0.56	0	0
B_8	0.21	0.01	0	0.97
B_9	0	0	0	0
B_{10}	0.12	0.09	0.08	0.12

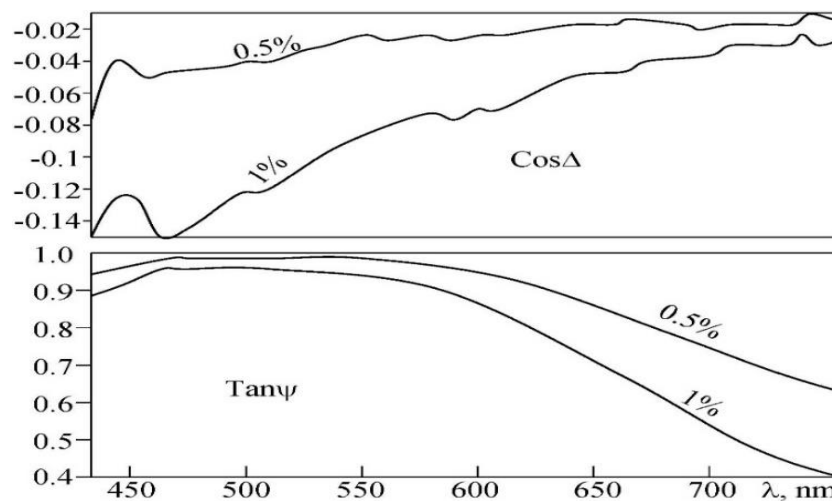
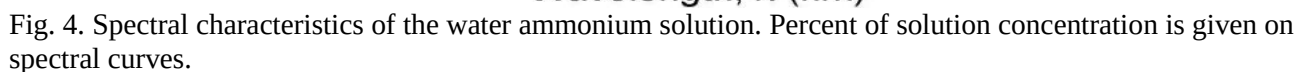


Fig. 3. Spectrums of the water solution of Na+Cu+Zn+Mn+glucosum. The mass percent of solution concentrations are located on the curves.



It is evident that spectral curve form depends on the concentrations of the contaminants. For linear dependence the following linear algebraic equations take place:

where x_s is the concentration of sth contaminant; M_i is the ordinate of spectral curve at the λ_i wavelength; $\{\xi_i\}$ is the noise as a result of instrumental and environmental causes; $\{b_{ij}\}$ are coefficients defined in the AIMIS education procedure.

Optical diagnostics of liquid solutions can identify chemicals in solution both in laboratory and in-situ conditions. Laboratory measurements have aim to define the quality of samples that can belong to the medicine, agriculture, industry, food and nature environment. In the last case the diagnostics results are to be extended on the spatial image of monitored water object. The SDF and TMC blocks solve of this task.

The Sevan Lake is the most large natural water body of the Caucasus and one of largest freshwater lakes in the world. The lake area was 1416 km² up to 1933 when different anthropogenic projects were realized for the irrigation and energy. The sea level falling by 13.7 m in 1961 and increase of wastewaters to the lake environment put the problem of effective monitoring system development for the optimal management of the environmental systems are exposed to the Sevan Lake. The using the AIMIS functions for the diagnostics of the Sevan Lake is needed to concretize the functions of its blocks what is represented in Fig. 5. and Table 3.

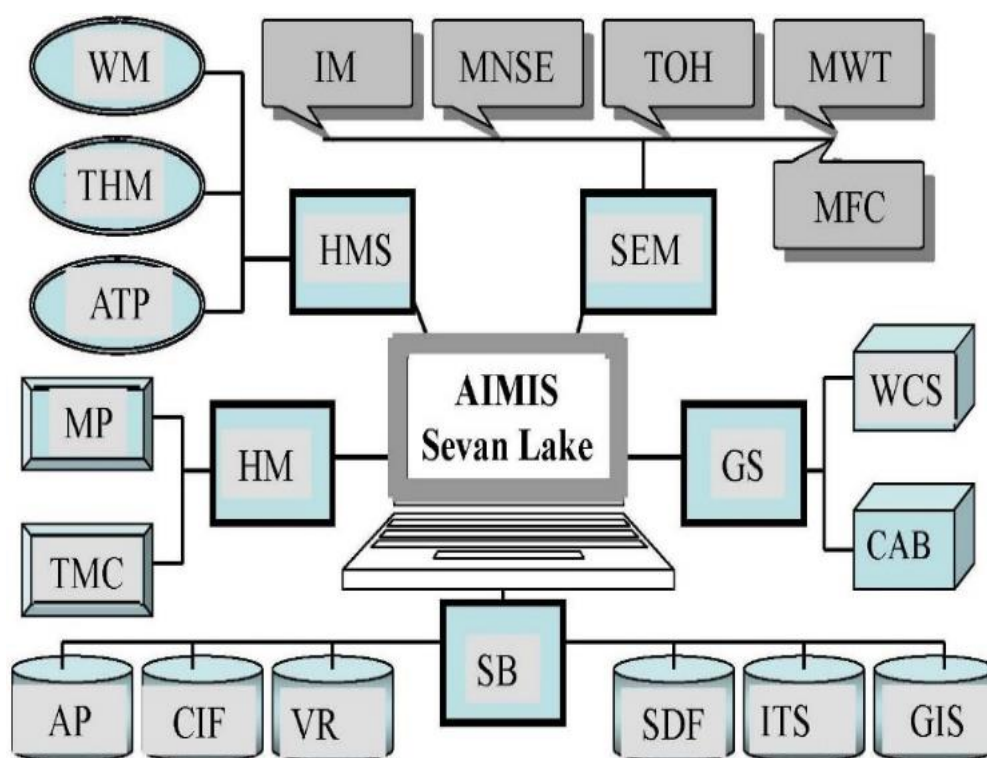


Fig. 5.. Block-diagram of the AIMIS adopted to the Sevan Lake ecosystem.

Table 3. List of the blocks in fig. 5.

Block	Block function
SB	Support block
CIF	Control of information fluxes
VR	Visualization of results
ITS	Inverse task solution
GIS	GIS zones bordering the water body
GS	Generator of scenarios
WCS	Water control scenario
AS	Anthropogenic scenario
MP	Meteorological prognosis
HMS	Hydrochemical model of the water body
SEM	Ecosystem model
THM	Transformation of heavy metals
MFC	Model of food chains for the water body
MWT	Model of the water temperature
TOH	Transformation of oil hydrocarbons
MNSE	Model of nutrient salts in the ecosystem
HM	Hydrological modeling
IM	Illumination model
ATP	Atmospheric transport of pollutants
WM	Water motion
AP	Adaptation procedure
TMC	Transport of mineral components
SDF	Support of the decision-making function
CAB	Ontrol of the anthropogenic base

Preliminary simulations shown there exist of scenario for the maintenance of stable Sevan water level on 1900 m at the expense of controlled using the *Hrazdan River and Arpi Lake* water resources. In this case

the conditions for ecosystem are in stable state providing the oxygen concentration about 8.4 mg/l. The AIMIS will help to support the water quality of the Sevan Lake in available quality for the fishery. Oxygen concentration has stable variation in surface and depth levels during all seasons in the limits from 7.51 to 12.22 mg/l in summer and from 5.48 to 7.82 in the autumn. The oxygen concentration of the depth waters is varied from 4.62 to 5.34 in summer and from 0.12 to 5.21 in the autumn.

Conclusion

As a result, it follows from the above that in order to increase the efficiency of the study of water systems, it is necessary to create in the future compact information systems for monitoring the quality of the aquatic environment and study their potential effectiveness. These systems are based on the combined application of spectrophotometric and spectroellipsometric methods and learning, classification and identification algorithms. The realization of this objective will require the combined use of engineering and algorithmic tools providing real - time measurements and data processing. The technology of combined use of spectrophotometry, spectroellipsometry and algorithms of detection and classification the creat of an original system of instrumental, algorithmic, modular and software tools for the collection and processing of data on the aquatic environment with forecasting and decision-making functions.

The system can be used in different fields where the water quality should be estimated or the presence of a particular set of chemical elements should be revealed. The system solves these problems by real-time monitoring of the aquatic environment. In the stationary version it allows the tracking of the dynamics of water quality in a stream, and when placed on a ship, it allows the measurement of water parameters along the route.

Acknowledgment

“The Study Was Supported By The Russian Science Foundation Grant No. 23-21-00115,
<https://rscf.ru/en/project/23-21-00115/>”

References

1. V.I. Kovalev, A.I. Rukovichnikov, S.V. Kovalev, V.V. Kovalev. An LED multichannel spectral ellipsometer with binary modulation of the polarization state. *Instruments and Experimental Techniques* 57, 2014, pp. 607-610.
2. V.I. Kovalev, M. Ali, B.V. Kovalev, V.V. Kovalev. Possibilities of achromatization of coaxial asymmetric phase shifters with an even number of reflections // *Opt. and Spectr.* 117(1), 2014, pp. 118–120.
3. V.I. Kovalev, A.I. Rukovichnikov, N.M. Rossukanyi, S.V. Kovalev, V.V. Kovalev, V.V. Amelichev, D.V. Kostyuk, D.V. Vasil'ev, E.P. Orlov. LED magneto-optical ellipsometer with the switching of orthogonal polarization states// *Instruments and Experimental Techniques* 57, 2016, pp. 707-711.
4. V.F. Krapivin, F.A. Mkrtchyan, N.A. Nazaryan. Development of GIMS-technology for environmental monitoring of ocean ecosystems. *Proceedings of the 31st International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice*, 21-24 February 2016, Mombetsu, Hokkaido, Japan. The Okhotsk Sea & Polar Oceans Research Association, Mombetsu, Hokkaido, Japan, 2016, pp 116-119
5. V.F. Krapivin, C. Nitu, F.A. Mkrtchyan, V.Yu. Soldatov, A.S. Dobrescu. Information-instrumental tools of microwave and optical environmental monitoring. *The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty* 18(1), 2018, pp. 11-18.
6. F. Liao, G. Wang, Z. Shi, X. Huang, Xu.F. Fangfei. Distributions, sources, and species of heavy metals/trace elements in shallow groundwater around the Poyang Lake, East China. *Water Quality, Exposure and Health* 10(4), 2018, pp. 211–227.
7. F.A. Mkrtchyan, V.F. Krapivin, V.V. Klimov. About an adaptive optical technology for monitoring aquatic ecosystem. *Abstracts of the North Pacific Marine Science Organization (PICES) Annual Meeting 2018*, October 25 - November 04, 2018, Yokohama, Japan, pp 151.
8. F.A. Mkrtchyan and V.F. Krapivin. About microwave radiometry and spectroellipsometric technologies for monitoring marine ecosystems. *Abstracts of the PICES Annual Meeting 2016 “25 Year of PICES: Celebrating the Past, Imagining the Future”*, November 2-13, 2016, North Pacific Marine Science Organization, San Diego, CA, USA, pp. 276-277.
9. Q. Plana, J. Alferes, K. Fuks, T. Kraft, T. Maruéjols, E. Torfs, P.A. Vanrolleghem. Towards a water quality database for raw and validated data with emphasis on structured metadata. *Water Quality Research Journal* 54(1), 2019, pp. 1–9.
10. n, F.R. Islam, H. Hagva. Smart water quality monitoring system. *Proceedings of the 2nd IEEE Asia Pacific Congress on Computer Science and Engineering*, 2–4 December 2015, Nadi, Fiji, pp 1–6
11. C.A. Varotsos, V.F. Krapivin, F.A. Mkrtchyan. New optical tools for water quality diagnostics. *Water, Air & Soil Pollution* 230, 177, 2019.
12. C.A. Varotsos, V.F. Krapivin. A new big data approach based on geoecological information-modeling system. *Big Earth Data* 1(1-2), 2017, pp. 47-63.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РЯДОВ СТОКА ВОДЫ МАЛОИЗУЧЕННОЙ ГОРОДСКОЙ РЕКИ СЕТУНЬ (Г. МОСКВА) НА ОСНОВЕ ДАННЫХ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

к.г.н., н.с. Терский П.Н.¹, к.г.н., н.с. Цыпленков А.С.², к.г.н., с.н.с. Морейдо В.М.¹,
к.г.н., н.с. Самохин М.А.², к.г.н., с.н.с. Соколов Д.И.²

¹Институт водных проблем Российской академии наук, Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Проведена оценка возможности восстановления рядов водного стока р. Сетунь на основе данных натурных наблюдений, выполненных авторами, результатов обобщения метеорологической информации и математического моделирования. Натурные наблюдения за расходом и уровнем воды р. Сетунь проводились в течение нескольких лет (с ноября 2019 по апрель 2023 г.) коллективом авторов и другими сотрудниками географического факультета МГУ с помощью автоматизированных методов измерения уровней и расходов воды. Они позволили на основе гидравлических вычислений и математических обобщений разработать кривую связи расхода воды р. Сетунь с уровнем воды в приустьевом створе, получить непрерывный ряд расходов воды с 30-минутным временным разрешением. Разработан автоматизированный алгоритм получения и анализа метеоданных из открытых источников. С использованием пространственного анализа и языка программирования R метеоданные с нескольких станций интерполированы в центроид водосбора р. Сетунь, создана база данных осадков и температуры воздуха для функционирования гидрологической модели с 12-часовым разрешением. Откалиброванная концептуальная гидрологическая модель HBV позволила оценить возможности моделирования речного стока на полусуточном, суточном и среднемесячном уровне, а затем вычислить среднемесячные расходы воды р. Сетунь для тестового периода 2016-2019 гг., не охваченного данными гидрометрических наблюдений.

Введение. По мере развития городов реки урбанизированных территорий становятся элементами природной среды, все более определяющими движение воды и вещества. Замена естественных ландшафтов городской застройкой, почвенного покрова – непроницаемыми асфальтовыми и бетонными поверхностями приводят к нарушению гидрологического режима территории, в том числе – увеличению рисков наводнений. Паводки на таких водосборах могут отличаться сокращенным временем добегания и приводить к наводнениям, разрушающим зеленую инфраструктуру, вызывать масштабные размывы русел рек, а также способствовать смыву загрязнений с непроницаемых поверхностей в русловую сеть [2, 3].

В мегаполисе, особенно таком крупном как Москва, любые градостроительные инициативы и проекты благоустройства неизбежно связаны с реками и их долинами. В условиях полного отсутствия сетевых гидрометрических наблюдений на малых реках г. Москвы, особенно актуальны экспедиционные и специализированные исследования водного и экологического режима рек, а также моделирование процессов формирования их стока и экологического состояния. В качестве объекта изучения выбрана р. Сетунь. В течение 2020-2023 гг. на ней в рамках проекта «Технология оценки экологического состояния Московского мегаполиса на основе анализа химического состава микрочастиц в системе «атмосфера–снег–дорожная пыль–почвы–поверхностные воды» (Мегаполис)» проводятся работы по измерению уровней и расходов воды р. Сетунь, что дает представление о ее водном режиме. Однако период натурных наблюдений в рамках проекта очень короткий и не полностью отражает особенности водного режима реки в многолетнем разрезе. Поэтому для оценки многолетних характеристик количества и качества воды в реках урбанизированных территорий целесообразно использовать гидрологическое моделирование [5]. Цель работы – на примере р. Сетунь определить возможности описания процесса формирования и трансформации стока с использованием простой модели «rainfall-runoff» для продления коротких рядов расходов воды на длительный период и выяснить источники неопределенностей при моделировании стока р. Сетунь.

Река Сетунь является крупнейшим правым притоком реки Москвы в границах мегаполиса. Её длина составляет 38 км, а площадь бассейна — 190 км². Она расположена в западной части города (рисунок 1) и протекает через районы Солнцево и Ново-Переделкино, а также Одинцовский район Московской области.

Материалы и методы. В приустьевом створе S-3 (0.6 км от устья) р. Сетунь с 1979 по 1988 г. функционировал расходный пост «Завод Сложные Эфиры», входящий в структуру Росгидромета. Река относилась к Восточно-Европейскому типу водного режима с ярко выраженным половодьем. Среднегодовой расход составлял 2.84 м³/с (15.3 л/с·км²). Оценка стока за период 1896-2010 гг. проведена в ГГИ [1]. Среднегодовой расход воды составил 2.41 м³/с (12.9 л/с·км²). В более поздние годы регулярных наблюдений не проводилось как в целом в бассейне Сетуни, так и в пределах г. Москвы. Комплексные полевые гидрологические работы имели эпизодический характер. На территории бассейна расположена одна метеостанция – МГУ, ближайшие – Немчиновка и Внуково,

находятся на северной и южной границах водосбора, другие метеостанции расположены значительно дальше (Наро-Фоминск, Ново-Иерусалим), либо в пределах исключительно городской застройки (например, Балчуг) (рисунк 1).



Рисунок 1 — Гидрометеорологическая изученность бассейна р. Сетунь.

Метеорологические наблюдения. Для задач настоящего исследования были использованы данные метеонаблюдений за 2015-2023 гг. по метеостанциям МГУ (WMO ID 27617), Немчиновка (WMO ID 27515) и Внуково (WMO ID 27515). Срочные измерения температуры воздуха (T , °C) и осадков (P , мм) были получены с сайта pogodaiklimat.ru и из архива метеостанции МГУ. Трехчасовые измерения были агрегированы в 12-часовые интервалы (9:00 и 21:00 МСК) как средняя температура воздуха и сумма осадков за предыдущие 12 часов. Доступ и обработка данных происходила на языке программирования R при помощи библиотеки `gr5pik` [10]. Метеопараметры с ближайших метеостанций были интерполированы в центроид водосбора методом универсального кригинга. В качестве предикторов использовалось среднесезонное распределение сумм осадков и температуры воздуха в регионе по данным TerraClimate. Снегозапасы (запас воды в снежном покрове) получены по данным реанализа ERA5-Land, а испаряемость вычислена методом Оудина для центроида водосбора.

Гидрологические наблюдения. С ноября 2019 г. по апрель 2023 г. сотрудниками МГУ проводятся гидрометрические наблюдения на временных гидрологических постах, расположенных по длине р. Сетунь [2, 3, 9]. Замыкающий створ S-3 (рисунк 1) расположен на приустьевом участке, вне зоны влияния р. Москвы. В течение периода наблюдений створ был оборудован гидростатическим уровнемером OnsetHoboU20L или SolinstLevellogger. Уровень воды фиксировался с интервалом 30 мин. непрерывно, начиная с 14 ноября 2019 г. Сведения об атмосферном давлении, необходимые для барокомпенсации наблюденных значений, получены по метеостанции Балчуг. Определение расходов воды в створах мониторинга основано на кривых связи с уровнями воды $Q=f(H)$. Расходы воды измерены акустик-доплеровским профилографом Sontek M9, гидрометрической вертушкой ИСП-1М или измерителем скорости потока «Посейдон». Максимальный расход воды составил 14,6 м³/с, а максимальный расчетный 30,8 м³/с. В диапазоне 1–14 м³/с кривая связи расходов и уровней воды достаточно надежна. Отклонения измеренных расходов воды от кривой не превышают 10%.

Моделирование речного стока. За основу для расчета взята концептуальная емкостная модель HBV с сосредоточенными параметрами [8], находящаяся в открытом доступе (<https://www.geo.uzh.ch/en/units/h2k/Services/HBV-Model.html>). Модель HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning) способна моделировать расход, используя данные об атмосферных осадках, температуре воздуха и оценку испаряемости [4].

Калибровка выполнена методом GAOptimization в пакете HBV-Light. Параметры снеготаяния и почвенного стока заданы в полураспределенном виде для трех вегетационных зон. Доли водосбора, занятые залесенными, безлесными и отдельно запечатанными городскими территориями, получены по слою землепользования 2020-2021 гг. с пространственным разрешением 10 м (<https://esa-worldcover.org/en>) и составили 50, 14 и 36% соответственно. Целевые показатели эффективности

модели и их весовые коэффициенты при калибровке (в скобках): критерия Нэша-Сатклиффа $Reff$ (0.6), критерия Клинга-Гупты KGE (0.2), объемной ошибки годового водного баланса $VolumeError$ (0.1), критерия Нэша-Сатклиффа для снегозапасов $SWEReff$ (0.1), обозначения приведены согласно (HBV-manual).

Результаты и обсуждение. В результате полевых работ получен массив натуральных данных об уровнях и расходах воды р. Сетунь в приустьевом створе S-3 с временным разрешением 30 мин., а также база данных отфильтрованных и осредненных расходов воды с временным разрешением 12 ч. Средний измеренный расход воды за период наблюдений составляет $2.40 \text{ м}^3/\text{с}$, что приблизительно соответствует опубликованным оценкам. Ряд полусуточных расходов воды использован для калибровки гидрологической модели.

Сбор, обработка и анализ метеоданных позволили создать базу данных температуры воздуха и осадков с временным разрешением 12 ч. для центроида водосбора р. Сетунь за период с января 2015 по апрель 2023 г., которая вместе с рядом снегозапасов и испаряемости является исходным массивом информации для моделирования речного стока.

При моделировании стока наиболее высокую эффективность показала версия модели HBV Standart version Basic model с использованием UZL (upper zone level – порог уровня грунтовых вод, при котором начинается водоотдача из верхней емкости) и K_0 (коэффициент интенсивности водоотдачи) в боксе SUZ (Storage in soil upper zone – запас воды в верхней почвенной емкости), период «разогрева» (warm-up – период достижения "оптимального" состояния, в котором внутренние емкости наполняются, и отклик модели становится реалистичным) составил более 1 года (01.01.2018–28.02.2020), период калибровки 01.03.2020–31.03.2022, проверки (валидации) 15.11.2019–19.04.2023. Настройка модели на расчетный период выполнена без использования стандартного подхода раздельной калибровки и валидации на независимом материале из-за того, что период с данными измерений расходов воды (15.11.2019–19.04.2023) недостаточно продолжителен. Для полусуточного шага по времени результаты калибровки считаются хорошими [6, 7], а валидации – удовлетворительными (таблица 1). Для месячного шага – очень хорошими и хорошими соответственно.

Таблица 1. Оценка качества моделирования полусуточных, ежедневных и среднемесячных расходов воды р. Сетунь

Характеристика		Калибровка (март 2020 – март 2022)	Валидация (ноябрь 2019 – апрель 2023)
$Reff$	Критерий Нэша-Сатклиффа для 12-час. расходов воды	0.74	0.68
KGE	Критерий Клинга-Гупты	0.84	0.80
$Meandiff$	Абсолютная ошибка годового слоя стока, мм/год	0.01	0.46
R^2	Коэффициент детерминации	0.75	0.68
$Reff \text{ daily}$	Критерий Нэша-Сатклиффа для ежедневных расходов	0.79	0.72
$Reff \text{ monthly}$	Критерий Нэша-Сатклиффа для среднемесячных расходов	0.84	0.73

Результат моделирования полного годового цикла расходов воды р. Сетунь считается удовлетворительным на уровне общего воспроизведения стока. Однако, для воспроизведения пиков расходов воды данная модель не подходит – некоторые особенно высокие дождевые паводки не воспроизводятся. 12-часовой интервал может быть слишком длительным для учета экстремальных ливневых паводков. Время добегания волны ливневого паводка на р. Сетунь было оценено в работе [2] в 6–8 часов, при этом формируется характерный многоступенчатый гидрограф. Также, возможны неточности в интерпретации расходов воды, ряды которых получены по кривым связи уровней и расходов воды.

Для расчетов стока при среднемесячном шаге модель имеет высокие показатели эффективности и может применяться для продления рядов среднемесячных расходов и оценки компонентов водного баланса водосбора р. Сетунь. С учетом периода «разогрева» модели – (весь 2015 г.) вычислены среднемесячные расходы воды р. Сетунь за период с января 2016 г. по март 2023 г. (рисунок 2). Доли поверхностного и подземного стока в этот период составили 19% и 81% соответственно.

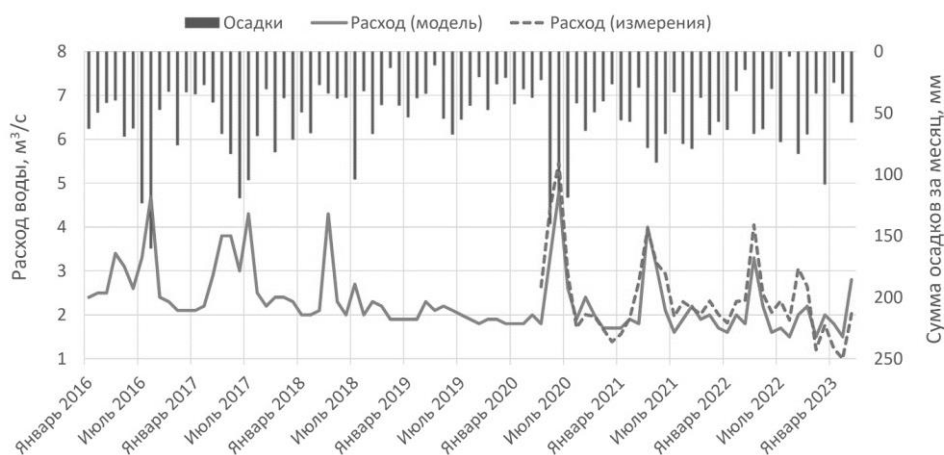


Рисунок 2 – Результат моделирования среднемесячных расходов воды р. Сетунь в створе S-3 за 2016-2023 г.

Заключение. Для решения задачи моделирования стока р. Сетунь выбрана концептуальная модель HBV. В целом, сток р. Сетуни удалось смоделировать простой моделью “rainfall-runoff”, однако не в полной мере – есть элементы паводков, не воспроизведенные моделью. Среднесуточного шага по времени недостаточно для моделирования расходов воды р. Сетунь, поскольку он зачастую вызван ливневыми осадками с периодом значительно меньше 1 суток. В работе использованы 12-часовые суммы осадков, поскольку меньший шаг обладает значительно большими неопределенностями из-за исходных метеоданных, чем возможность уточнения смоделированных паводков. Настроена предварительная версия модели HBV. Путем моделирования выполнено продление рядов среднемесячных расходов воды р. Сетунь на ретроспективу до 2016 г. включительно. Однако для восстановления экстремальных паводков и их конкретных дат модель требует дальнейшей настройки. Для этого необходим более продолжительный и надежный ряд наблюдений за расходами воды, данные об осадках более высокой дискретности, а также учет системы водоотведения и антропогенного перераспределения стока р. Сетунь.

Литература

1. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги [Электронный ресурс] Под ред. В.Ю. Георгиевского / Н.И. Алексеевский, Н.Л. Фролова, С.А. Агафонова и др. Санкт-Петербург: ФГБУ ГТИ, 2015.
2. Чалов С.Р., Платонов В.С., Морейдо В.М., Самохин М.А., Ярынич Ю.И., Коршунова Н.Н., Болгов М.В., Касимов Н.С. Реакция водного стока малой городской реки на экстремальные дождевые осадки на территории Москвы в 2020 и 2021 гг. // *Метеорология и гидрология*. 2023. № 2. С. 69–79. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2023-2-69-79>.
3. Chalov S., Platonov V., Erina O., Moreido V., Samokhin M., Sokolov D., Tereshina M., Yarinich Y., Kasimov N.: Rainstorms impacts on water, sediment, and trace elements loads in an urbanized catchment within Moscow city: case study of summer 2020 and 2021 // *Theor. Appl. Climatol.*, 151, 871–889, <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04298-9>, 2023.
4. Grillakis M.G., Tsanis I.K., Koutroulis A.G. Application of the HBV hydrological model in a flash flood case in Slovenia // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2010. Vol. 10. № 12. P. 2713-2725.
5. Keller, A. A., Garner, K., Rao, N., Knipping, E., and Thomas, J.: Hydrological models for climate-based assessments at the watershed scale: A critical review of existing hydrologic and water quality models // *Sci. Total Environ.*, 867, 161209, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161209>, 2023.
6. Knoben W.J.M., Freer J.E., Woods R. A. Technical note: Inherent benchmark or not? Comparing Nash–Sutcliffe and Kling–Gupta efficiency scores // *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2019. Vol.23, p. 4323–4331, <https://doi.org/10.5194/hess-23-4323-2019>.
7. Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D., Veith T. LModel evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations // *Transactions of the ASABE*. 2007. 50(3), 885-900.
8. Seibert J. HBV light version 2, User's manual //Stockholm University-available at http://people.su.se/~jseib/HBV/HBV_manual_2005.pdf. – 2005.

9. Sokolov D., Chalov S., Tereshina M. et al. Hydrological regime of the urban Setun river // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 834.
10. Tsyplenkov Anatoliy. (2023). atsyplenkov/rp5pik: rp5pik v0.0.2.2 (v0.0.2.2). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8090329>

REPRODUCTION OF WATER RUNOFF TIME SERIES OF THE POORLY GAUGED URBAN RIVER SETUN (MOSCOW) BASED ON FIELD MEASUREMENTS AND HYDROLOGICAL MODELING

P.Terskii¹, A. Tsyplenkov², V. Moreido¹, M.Samokhin², D.Sokolov²

¹Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119333 Russia

²Faculty of Geography, Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

The authors' field observations, followed by the outcomes of the generalization of meteorological data, and the results of mathematical modeling were used to examine the viability of reconstructing the Setun River's runoff time series. The Setun River's runoff and water level were in-situ observed over a period of several years (from November 2019 to April 2023) by the authors and other members of Moscow State University using automated methods of measuring water level and runoff. They made it feasible to construct a river discharge-level curve for the Setun River at the mouth section, to produce a continuous sequence of water discharges with a 30-minute time resolution. For the purpose of collecting and evaluating meteorological data from free resources, an automated algorithm was created. Meteorological data from several stations were interpolated into the centroid of the Setun River watershed using spatial analysis and the R coding language. For the operation of the hydrological model, a 12-hours database of precipitation and air temperature was constructed for the Setun River. The calibrated HBV conceptual hydrological model made it possible to assess the modeling capabilities of the river runoff at the half-daily, daily and monthly mean levels, and then to calculate the average monthly time series of water discharge of the Setun River for the test period 2016-2019, which was not covered by hydrometric observation data.

ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТХОДОВ УГЛЕДОБЫЧИ НА МИКРОФЛОРУ ЛАНДШАФТОВ ЮГА РОССИИ

асп., м.н.с. Пуликова Е.П., проф., д.б.н. Минкина Т.М., в.н.с., к. б. н. Невидомская Д.Г, доц. к.б.н. Горюнов А.В., с.н.с., к.г.н. Константинова Е.Ю., асп., м.н.с. Иванов Ф.Д, в. н.с. Манджиева С.С.

Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Иванова Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, Россия

Добывающая топливно-энергетическая отрасль, связанная с разработкой угольных месторождений подземным способом, приводит к образованию антропогенных морфоструктур – отвалы шахтных и вскрышных пород, которые оказывают деструктивное воздействие на зональные почвенные экосистемы. Целью работы является изучение процессов цикла азота, обусловленных деятельностью микрофлоры, в почвах (Technosol) углеотвалов и прилегающих к ним территориях. Объектом исследования являются техногенно-трансформированные почвы двух породных шахтных отвалов юга России. Установлено, что на активность нитрификации и денитрификации особенно негативно повлияли высокие концентрации подвижных форм Zn, Ni и Cu, присутствие частиц угольной фракции, а также засоление почвенных образцов. Активность уреазы снизилась по причине снижения содержания лабильного C_{орг} в нарушенных почвах. По степени чувствительности к загрязнению ТМ микробиологические показатели круговорота азота формируют следующий убывающий ряд: активность нитрификации, денитрификации и уреазная активность.

Введение

Добыча угля приводит к уничтожению растительности, изменению ландшафта, нарушению гидрологического режима почв. При хранении отходов угледобычи образуются отвалы шахтных и вскрышных пород угольных отходов. В связи с этим почвенный покров, прилегающий к отвалам, претерпевает коренные изменения [3]. Отвалы угольных шахт могут содержать избыточное количество токсичных металлов, таких как Zn, Cu, Ni, Pb, As, Cd и Cr [10]. Проблема изучения негативного воздействия механизированной добычи угля на компоненты ландшафтов, в том числе, почву, поверхностные и грунтовые воды, растительность достаточно актуальна и освещена. Однако, встречаются лишь отдельные работы по влиянию добычи угля на микробиологические процессы в техногенно трансформированных почвах. Особенно недостаточно данных о взаимосвязи между активностью ферментов и свойствами почв в условиях загрязнения Zn, Pb и Cd [2, 3]. Микробиологические процессы чувствительны к изменениям почвенной среды, поэтому состояние микробиоты служит почвенным биоиндикатором. Показатели микробиологической активности могут

быть использованы в качестве индикатора эффективности рекультивации почв углеотвалов [6]. Изучение динамики трансформации N в почвах, подверженных угледобыче, особенно информативно для понимания аспектов восстановления почвенного и растительного покровов [5], поскольку азот является одним из необходимых элементов питания. Нарушение баланса в процессах трансформации азотистых соединений может оказать серьезное влияние на почвы и сопредельные с ними среды. Например, нарушение процессов денитрификации и нитрификации может привести к загрязнению почвы нитритами и нитратами, выбросу в атмосферу парникового газа – закиси азота, а также к дефициту N в почвах угольных отвалов [5, 7, 13]. В связи с вышеизложенным, целью настоящего исследования было изучение процессов цикла азота в техногенно-трансформированных почвах углеотвалов при длительной эксплуатации шахт.

Материалы и методы

В западной части юга России располагается добывающая топливно-энергетическая отрасль, приуроченная к крупнейшему каменноугольному бассейну – Восточному Донбассу. Основным зональным типом почв исследуемой территории являются черноземы обыкновенные теплые кратковременно промерзающие южно-европейской фации, согласно WRB (2022) относящиеся к типу почв *Haplic Chernozem*. В результате долговременных воздействий угледобывающей отрасли почвенный покров существенно преобразовался и сформировался техногенно нарушенный тип почв – *Technosol* [12]. Обследованы 16 почвенных образцов породных углеотвалов шахт «Аютинская» и «Майская» (рисунок 1). Угледобывающее предприятие шахта «Аютинская» (бывшая шахта «Аютинская» № 13) была организована в 1943 году, угледобыча на шахте была остановлена в июле 2006 года из-за аварийного затопления грунтовыми водами. Шахта расположена на северном крыле Грушевско-Несветаевской синклинали в поселке Аюта, который территориально относится к административному округу города Шахты Ростовской области в 10 км на северо-запад непосредственно от города. Отвал шахты «Аютинская» имеет активные очаги возгорания и, по официальным данным, для потушения склон углеотвала был перекрыт глинястым материалом. Шахта «Майская» — расположена на южном крыле Грушевско-Несветаевской синклинали примерно в 9 км к западу от микрорайона Майский, который относится к административному округу города Шахты. Функционирование шахты «Майская» было остановлено в 90-е годы, однако в настоящее время отвал разрабатывается для нужд дорожного строительства. В качестве фоновой незагрязненной почвы для сравнения с почвами территорий угледобычи изучался *Haplic Chernozem* особо охраняемой природной территории (ООПТ) «Персиановская заповедная степь», представляющий собой целинную нераспаханную степь. ООПТ располагается в 22 и 33 км от углеотвалов шахты Майская и Аютинская, соответственно.



Рисунок 1. Карта отбора проб исследуемых шахтных отвалов: угольные отвалы шахт Аютинская (А) и Майская (В)

В почвах было определены содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов Zn, Cu, Ni, Pb и Mn [8], содержание $C_{орг}$ и лабильного водорастворимого $C_{орг}$, pH почв [14].

Уреазная активность определялась с помощью модифицированного индофенольного метода. Полученный раствор колориметрировали при $\lambda=690$ нм. В основу метода положено фотометрическое измерение образовавшегося в ходе гидролиза мочевины аммонийного азота, путём образования окрашенных комплексов в присутствии нитропрусида [4]. Активность окисления аммония и нитритов определяли путем инкубации образцов почвы с добавлением сульфата аммония с хлоратом и без него. Последний использовался как ингибитор второй стадии нитрификации [11]. В полученные вытяжки вносился реактив Грисса, раствор колориметрировали при $\lambda=540$ нм. Активность нитратредуктазы и нитритредуктазы определяли по методу А.Ш. Галстяна [1].

Результаты и обсуждение

Результаты проведенных исследований выявили, что самая высокая биологическая активность уреазы была отмечена для почвы углеотвала шахты Аютинская (площадка А1). Несмотря на то, что площадка А4 характеризовалась высокими концентрациями техногенного С ($C_{\text{орг}}^{700} = 52\%$) активность уреазы в этом образце выше по сравнению с площадками склона (А7-А9), где активность уреазы практически отсутствовала. Склон углеотвала характеризуется низким содержанием лабильного $C_{\text{орг}}$ (0,02-0,2 г/кг) относительно почв ООПТ (1,6 г/кг). В площадках М1 и М2 углеотвала шахты Майская обнаружены сравнительно высокие значения активности уреазы относительно площадок М3, М6 и М7 (рисунок 2). Биологическая активность в техногенно трансформированных почвах 2,3 раза ниже, чем активность уреазы в почвах ООПТ. Обнаружена достоверная положительная корреляция между активностью уреазы и содержанием лабильного $C_{\text{орг}}$ ($r = 0.71$).

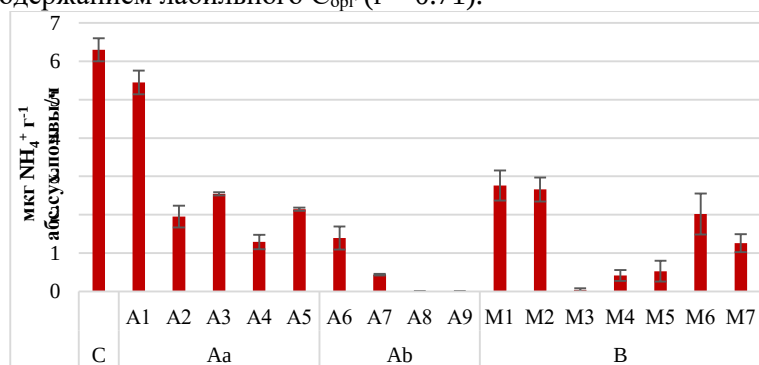


Рисунок 2. Активность уреазы в почвенных образцах: С – ООПТ «Персиановская степь», Аа – подошва угольного отвала шахты Аютинская, Аб – склон угольного отвала шахты Аютинская, В – угольный отвал шахты Майская

Наиболее высокая денитрифицирующая активность в почвах угольного отвала шахты Аютинская отмечена в почве площадки А9, которая превысила таковые значения в почве ООПТ. Наименьшая активность обнаружена в почве площадки А4 (рисунок 3). Среди исследуемых почвенных образцов углеотвала шахты Майская наибольшая денитрифицирующая активность была обнаружена для площадки М1. Наименьшая активность нитрат- и нитрит-редуктаз наблюдается в образцах почв площадок М3 и М2 соответственно. Снижение активности нитритредукции обнаружено в почвенных образцах площадок М4-М7 по мере их удаления от шахтного отвала. Активность денитрификации была выше в рекультивированном слое склона отвала, по сравнению с почвами подножия отвала. Высокие концентрации подвижных форм Zn and Cu (66,8 и 12,9 мг/кг, соответственно) способствовали снижению активности денитрификации. Чувствительность процессов денитрификации к ТМ (в частности Zn, Cu, Ni), также подтверждается другими работами [9, 16].

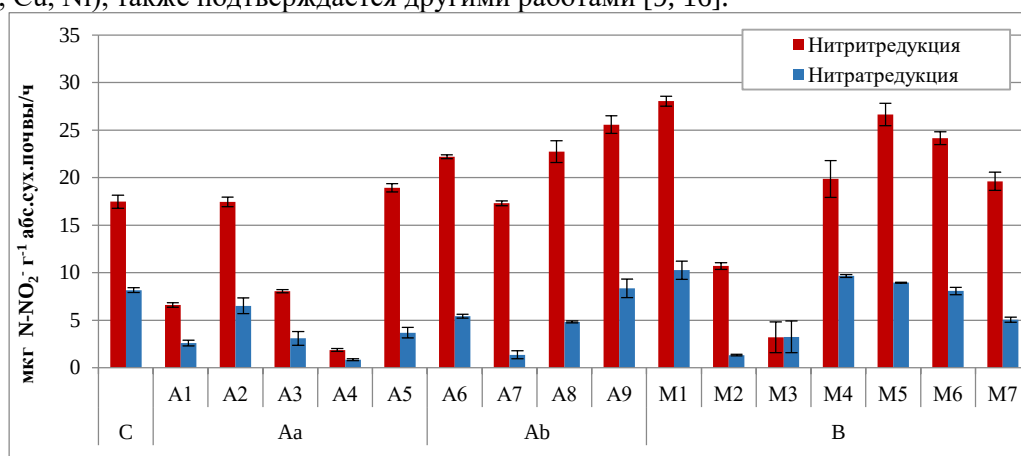


Рисунок 3. Активность денитрификации в почвенных образцах: С – ООПТ «Персиановская степь», Аа – подошва угольного отвала шахты Аютинская, Аб – склон угольного отвала шахты Аютинская, В – угольный отвал шахты Майская

Наиболее высокие значения активности окисления аммония и нитритов в почвах угольного отвала шахты Аютинская обнаружены в почве площадки А1, а самые низкие – в почве А4 (рисунок 4), что в 30 раз меньше нитрифицирующей активности почв Персиановской степи. Низкая активность

нитрификации обнаружена в образце с высоким содержанием в почве угольной фракции в качестве примеси и низким значением pH (pH почвы площадки М3 – 4,0). Поскольку pH < 5,5 негативно влияет на автотрофных нитрификаторов [15]. Активность на площадке М3 была в 250 раз ниже, чем в фоновых почвах. В образцах площадок М4-М7 прослеживается следующая закономерность: нитрификация увеличивается по мере удаления от углеотвала (содержание подвижных форм N_i снизилось с 8,5 до 1,2 мг/кг).

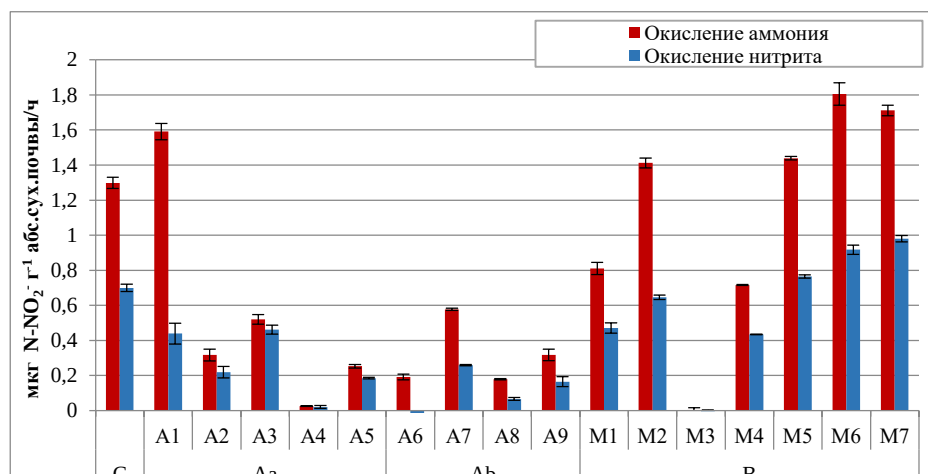


Рисунок 4. Активность нитрификации в почвенных образцах: С – ООПТ «Персиановская степь», Аа – подошва угольного отвала шахты Аютинская, Ab – склон угольного отвала шахты Аютинская, В – угольный отвал шахты Майская

Установлено, что такие факторы техногенеза, как повышенное содержание в почве техногенного C_{орг} и содержания подвижных форм металлов (Zn, Ni и Cu) и низкие значения pH оказывают негативное влияние на активность процессов нитрификации, денитрификации в почвах территорий углеотвалов. Сниженное содержание лабильного C_{орг} в техноземах и рекультивируемых почвах значительно снизило активность уреазы. В Technosols, которые подверглись механическому восстановлению, снижается активность нитрификации и уреазы, которая ответственна за образование аммония из мочевины. В почвах, загрязнённых ТМ или техногенным C_{орг}, в первую очередь снижаются процессы окисления аммония.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ Арм_а, проект № 20-55-05014.

Литература

1. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М. : Наука, 2005. 252 с.
2. Ciarkowska K., Sołek-Podwika K., Wiczorek J. Enzyme activity as an indicator of soil-rehabilitation processes at a zinc and lead ore mining and processing area //Journal of environmental Management. – 2014. – V. 132. – P. 250-256.
3. Feng, Y., Wang, J., Bai, Z., Reading, L. Effects of surface coal mining and land reclamation on soil properties: A review //Earth-Science Reviews. – 2019. – V. 191. – P. 12-25.
4. Kandeler E., Gerber H. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium //Biology and fertility of Soils. – 1988. – V. 6. – P. 68-72.
5. Kumari S., Maiti S. K. Nitrogen recovery in reclaimed mine soil under different amendment practices in tandem with legume and non-legume revegetation: A review //Soil Use and Management. – 2022. – V. 38. – №. 2. – P. 1113-1145.
6. Li, H., Shao, H., Li, W., Bi, R., Bai, Z. Improving Soil Enzyme Activities and Related Quality Properties of Reclaimed Soil by Applying Weathered Coal in Opencast-Mining Areas of the Chinese Loess Plateau //CLEAN–Soil, Air, Water. – 2012. – V. 40. – №. 3. – P. 233-238.
7. Magalhães, C. M., Machado, A., Matos, P., Bordalo, A. A.. Impact of copper on the diversity, abundance and transcription of nitrite and nitrous oxide reductase genes in an urban European estuary //FEMS Microbiology Ecology. – 2011. – V. 77. – №. 2. – P. 274-284.
8. Minkina, T. M., Motuzova, G. V., Nazarenko, O. G., Kryshchenko, V. S., Mandzhieva, S. S. Combined approach for fractioning metal compounds in soils //Eurasian Soil Science. – 2008. – V. 41. – P. 1171-1179.
9. Nikolaeva, O., Tikhonov, V., Vecherskii, M., Kostina, N., Fedoseeva, E., & Astaikina, A. Ecotoxicological effects of traffic-related pollutants in roadside soils of Moscow //Ecotoxicology and environmental safety. – 2019. – V. 172. – P. 538-546.

10. Ribeiro, J., Da Silva, E. F., Li, Z., Ward, C., Flores, D. Petrographic, mineralogical and geochemical characterization of the Serrinha coal waste pile (Douro Coalfield, Portugal) and the potential environmental impacts on soil, sediments and surface waters //International Journal of Coal Geology. – 2010. – V. 83. – №. 4. – P. 456-466.
11. Sauvé, S., Dumestre, A., McBride, M., Gillett, J. W., Berthelin, J. Hendershot, W. Nitrification potential in field-collected soils contaminated with Pb or Cu //Applied Soil Ecology. – 1999. – V. 12. – №. 1. – P. 29-39.
12. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition published in 2022 by the International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria. ISBN 979-8-9862451-1-9, 234 p.
13. Yu, Y., Zhao, C., Zheng, N., Jia, H., Yao, H. Interactive effects of soil texture and salinity on nitrous oxide emissions following crop residue amendment //Geoderma. – 2019. – V. 337. – P. 1146-1154.
14. Zamulina, I. V., Gorovtsov, A. V., Minkina, T. M., Mandzhieva, S. S., Bauer, T. V., Burachevskaya, M. V. The influence of long-term Zn and Cu contamination in Spolic Technosols on water-soluble organic matter and soil biological activity //Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2021. – V. 208. – P. 111471.
15. Zhao, D., Li, F., Wang, R., Yang, Q., Ni, H. Effect of soil sealing on the microbial biomass, N transformation and related enzyme activities at various depths of soils in urban area of Beijing, China //Journal of soils and sediments. – 2012. – V. 12. – P. 519-530.
16. Zou, G., Ylinen, A., Di Capua, F., Papirio, S., Lakaniemi, A. M., Puhakka, J. Impact of heavy metals on denitrification of simulated mining wastewaters //Advanced Materials Research. – Trans Tech Publications Ltd, 2013. – V. 825. – P. 500-503.

IMPACTS OF COAL MINING WASTE ON THE LANDSCAPE MICROFLORA OF THE SOUTH OF RUSSIA

Pulikova E.P., Minkina T.M., Nevidomskaya D.G., Gorovtsov A.V., Konstantinova E.Yu., Ivanov F.D., Mandzhieva S.S.

Academy of Biology and Biotechnologies, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

The extractive fuel and energy industry associated with the development of coal deposits by the underground method leads to the formation of anthropogenic morphostructures - dumps of mine and overburden rocks, which have a destructive effect on zonal soil ecosystems. The aim of the work is to study the processes of the nitrogen cycle, caused by the activity of microflora, in soils (Technosol) of coal dumps and adjacent territories. The object of the study is the technogenically transformed soils of two rock mine dumps in the south of Russia. It has been established that the activity of nitrification and denitrification was especially negatively affected by high concentrations of mobile forms of Zn, Ni and Cu, the presence of particles of the coal fraction, and salinity of soil samples. The activity of urease decreased due to the decrease in the content of labile Corg in disturbed soils. According to the degree of sensitivity to HM contamination, the microbiological indicators of the nitrogen cycle form the following decreasing series: nitrification, denitrification, and urease activity.

The study was supported by the RFBR grant Arm_a, project No. 20-55-05014.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МАСЛООХЛАДИТЕЛЕЙ ТЭС И АЭС

Аронсон К.Э.², Балакин Д.Ю.², Желонкин Н.В.², Старостин А.А.^{1,2}, Шангин В.В.¹, Шлеймович Е.М.²

¹ Институт теплофизики УрО РАН, Екатеринбург,

² Уральский федеральный университет, Екатеринбург,

Рассмотрены вопросы конструктивной и диагностической составляющих повышения экологической надежности маслоохладителей в составе теплоэнергетического оборудования. Экологический ущерб от утечек масла многократно превосходит затраты на создание конструкций маслоохладителей повышенной надежности и систем мониторинга утечек масла. Перспективно применение конструкционных материалов из нержавеющей стали. Рассмотрены методы контроля содержания масла в воде, которые могут использоваться для экологического мониторинга ТЭС. Разработку приборов для мониторинга содержания примесей масла в воде целесообразно проводить на основе оптических технологий. Создание и применение доступных отечественных индикаторов наличия нефтепродуктов в воде необходимо для реализации эффективной системы мониторинга состояния маслonaполненного оборудования и повышения экологической безопасности ТЭС и АЭС в целом.

Одной из экологических проблем является загрязнение водных ресурсов ТЭС и АЭС утечками из маслосистем турбогенераторов. Маслосистема - неотъемлемый элемент турбоагрегата, во многом определяющий его надежность и безаварийную работу. Основным назначением маслосистемы

является обеспечение жидкостного трения в подшипниках турбин, генераторов, питательных турбонасосов, редукторов. Масло также используется в гидравлических системах регулирования и защиты турбин. В технологическом процессе необходимо охлаждение масла в маслоохладителях. Преимущественное распространение получили вертикальные маслоохладители с поверхностью теплообмена из гладких трубок. Маслоохладители должны быть герметичными по масляной и по водяной сторонам как в случае превышении давления масла над давлением воды, так и – превышении давления воды над давлением масла. Тем не менее, на практике существует проблема негерметичности маслоохладителей. Ежегодные случайные протечки на ТЭС и АЭС приводят к безвозвратной потере турбинного масла в объеме 2-8% вместимости маслосистемы [1], которая зависит от модели турбины, и в большинстве случаев составляет десятки тонн. В охлаждающую воду попадает лишь часть протечек, однако уже 10 кг масла покрывает масляной пленкой площадь до четырех гектаров водной поверхности.

Согласно правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей [2], предельно допустимая концентрация по сбросам нефтепродуктов в циркуляционную воду для водоемов составляет 0,3 мг/л; там же, где имеется садковое рыбное хозяйство, — 0,05 мг/л. Штрафы и компенсации даже за нормативные сбросы составляют значительные суммы, а превышение норм объема сбрасываемых нефтепродуктов оплачивается станцией в стократном размере. Кроме этого, стоимость за тонну сбрасываемых нефтепродуктов растет примерно на 5% в год. Справедливо заметить, что попавшие в водоем нефтепродукты в результате биохимического окисления постепенно разлагаются на углекислоту и воду. Однако этот процесс протекает медленно и зависит от количества растворенного в воде кислорода, температуры воды и количества микроорганизмов в ней. В летнее время пленка нефтепродуктов разлагается на 50...80% в течение 5...7 дней, при температуре ниже +10 °С процесс разложения идет более длительно, а при +4 °С разложения вообще не происходит.

Существуют различные технические направления повышения надежности и экологической безопасности систем маслоснабжения турбоустановок:

- бессточные схемы циркуляционного водоснабжения;
- схемы двухконтурного водяного охлаждения масла;
- поднятие давления воды в маслоохладителях выше давления масла;
- создание высокоплотных (герметичных) маслоохладителей.

Схема бессточного циркуляционного водоснабжения является разновидностью оборотной схемы, но с уменьшенной долей продувки. Бессточная схема позволяет существенно снизить загрязнение окружающей среды нефтепродуктами, однако такая схема требует существенных затрат на дополнительное оборудование и кроме того, возрастает коэффициент упаривания до 12–14, что приводит к интенсивному образованию накипи на теплообменных трубках конденсатора. При схеме прямоточного водоснабжения, когда охлаждающая вода подается не из водоема, а из реки, вопросы контроля сбросов нефтепродуктов являются особенно актуальными. В первую очередь это связано с наличием течения воды, которое интенсифицирует загрязнение нефтепродуктами в случае их утечки, а также с опасностью попадания нефтепродуктов в водоемы питьевого назначения. Реализация схемы двухконтурного водяного охлаждения масла практически исключает возможность утечки нефтепродуктов, однако имеет ряд существенных недостатков. В частности, высокая стоимость из-за увеличения числа оборудования, а также снижение эффективности охлаждения масла из-за наличия промежуточного теплообменника.

Наиболее очевидным решением, направленным на предотвращение попадания масла в водоемы, является поддержание давления воды в трубной системе теплообменника выше давления масла. Эта схема рациональна при использовании дорогостоящего огнестойкого масла, потери которого крайне нежелательны. Однако при появлении неплотности в трубном пучке к подшипникам и другим узлам системы смазывания будет поступать обводненное масло. Достаточно обрыва только одной трубки диаметром 16х1 мм в маслоохладителе типа МБ-190-250, чтобы в маслосистему турбины К-500-240 попало 2–4 м³/ч воды и образовалась эмульсия с объемным водосодержанием 5–7 %. Работа подшипников и системы их смазывания на обводненном масле запрещается, поэтому при аварийном нарушении герметичности трубной системы маслоохладителей необходимо срочно вывести их в ремонт, а масло незамедлительно подвергнуть сепарированию, так как качество масла при попадании в него воды быстро ухудшается.

Ещё одно популярное направление повышения надежности и экологической безопасности систем маслоснабжения – создание высокоплотных маслоохладителей. По статистике каждый второй маслоохладитель является в той или иной степени негерметичным. Выделяют следующие виды дефектов маслоохладителей:

- заводские дефекты: установка некачественных трубок; некачественная заглушка дефектных трубок; некачественная сборка маслоохладителей
- интенсивная коррозия трубок: неправильный выбор материала; низкие скорости воды в трубках, что стимулирует язвенную коррозию; неправильная консервация трубной системы, что приводит к ее коррозии.
- нарушение вальцованных соединений трубок с трубными досками из-за имеющейся вибрации трубок, а также периодических изменений длины трубных пучков, вызванных колебаниями температуры охлаждающей воды.

В [3] проведен анализ повреждаемости маслоохладителей паровых турбин. Всего обследовано 2100 маслоохладителей на 770 турбоагрегатах мощностью 25–800 МВт. Аппараты разбиты на 4 группы в зависимости от материала трубных систем:

- латунь (Л68);
- оловянистые, алюминиевые латуни (ЛО70-1, ЛОМш70-1-0,06, ЛА77-2; ЛАМш77-2-0,06 и др.);
- медно-никелевые сплавы (МНЖ5-1-0,8, МНЖМц30-0,08-1);
- нержавеющая сталь (1Х18Н10Т, Х18Н12М2Т).

В частности, обследовались маслоохладители всевозможных конструкций в различных схемах водоснабжения (прямоточная, с прудом-охладителем, с градирнями). Результаты обследования представлены в табл. 1.

Из анализа этой таблицы можно сделать следующие выводы[3]: маслоохладители с трубной системой из латуни Л68 менее надежны, чем из других материалов. Для маслоохладителей с латунными трубками типичными оказываются коррозионные повреждения и трещины. Трубки из медно-никелевых сплавов чаще повреждаются в месте вальцевания в трубной доске. Повреждения маслоохладителей с трубками из нержавеющей стали практически не наблюдаются.

При разработке надежных маслоохладителей с нержавеющими трубками реализован ряд актуальных технических решений [4]:

- профилирование трубок для компенсации снижения термического сопротивления от применения в качестве материала для трубок нержавеющей стали;
- оптимизация компоновки трубной системы для создания максимальных скоростей масла в межтрубном пространстве;
- оптимальный шаг отверстий в трубной доске для создания качественного вальцовочного соединения;
- комбинированный способ закрепления трубки в трубной доске (вальцевание-сварка);
- надежные способы компенсации температурных расширений.

Таблица 1

Повреждаемость маслоохладителей

Параметры обследования	Число маслоохладителей при типах поверхности теплообмена			
	Латунь Л68	Оловянистая, алюминиевая латуни	Медно никелевые сплавы	Нержавею щие стали
Всего маслоохладителей, шт. (%)	1390	450	253	8
Число плотных, шт. (%)	97(7)	303(67,3)	207(82,1)	8(100)
Число неплотных, шт. (%)	751(54)	86(19,1)	45(17,9)	—
Число м/о, предрасположенных к повреждаемости, шт. (%)	542(39)	61(13,6)	—	—
Причины повреждаемости: количество повреждений из-за вальцевания, шт. (%)	—	7(1,6)	33(13,1)	—
язвенная коррозия, шт. (%)	389(28)	33(7,3)	7(2,8)	—
повреждения труб, шт. (%)	362(26)	46(10,2)	5(2)	—
число м/о, мг/л, работающих на воде с солесодержанием, шт. (%)				
≤ 300	168(12)	26(5,8)	10(4)	—
≥ 300	583(42)	60(13,3)	35(13,9)	—

Разумеется, использование надлежащих материалов, передовых технологий и контроля качества во время изготовления оборудования существенно увеличивают его надежность и экологическую безопасность. Однако, в зависимости от длительности эксплуатации выделяют два пика повышенного выхода из строя маслоохладителей: через 1–3 года (отбраковка заводских дефектов) и через 10 лет, что может быть связано со сроком службы аппаратов. В первом случае отказы носят случайный характер, во втором (отказы, связанные с исчерпанием ресурса оборудования) – более предсказуемы.

Тем не менее, необходимо своевременное выявление негерметичных маслоохладителей для вывода в ремонт. Для этого могут использоваться приборы эксплуатационного контроля за содержанием масла в сбрасываемой циркуляционной воде. В зарубежной энергетике применяют следующие приборы-детекторы масла в воде: фотооптическая система «Сальвико» (фирма «Селен и Викандер», Швеция), спектрометрический индикатор ОСМА-200 (фирма «Хориба», США), нефтемер Ойл-102 (фирма «Токе трейдинг компании», Япония), система «Ойли электроника» (фирма СЛАО, Финляндия) и др. Из отечественных приборов, созданных для нужд энергетики, известен измеритель нефти в воде, разработанный Тюменским индустриальным институтом. Прибор содержит датчик в виде селективного осадителя-накопителя масла на полированном металлическом сорбенте, кондуктометрический измеритель и хроматографический анализатор [5].

Все перечисленные приборы достаточно сложны, дороги и мало пригодны для задач производственного мониторинга. В настоящее время для мониторинга перспективны оптические методы: флуориметрический и спектрометрический [6].

Флуориметрический метод основан на оптическом возбуждении примесей нефтепродуктов (НП) с последующим измерением интенсивности их флуоресценции. Метод отличается высокой чувствительностью (нижняя граница диапазона измерений 0,005 мг/л), экспрессностью, малыми объемами анализируемой пробы (1 см³) и отсутствием значимых мешающих влияний липидов. В формировании аналитического сигнала участвуют только ароматические углеводороды. Поскольку они обладают различными условиями возбуждения и регистрации эмиссии, наблюдается изменение спектра флуоресценции экстракта в зависимости от длины волны возбуждающего света. Эффективно коротковолновое ультрафиолетовое (УФ) излучение. С помощью флуориметрического метода определяются не только нефтепродукты, но и органические соединения иного происхождения. Наиболее распространены в легких фракциях нефтепродуктов среди полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) нафталин и метилнафталины. Показано, что увеличение относительного содержания нафталина и его монометилзамещенных может служить характерным индикатором загрязнения водоисточника нефтепродуктами.

Метод инфракрасной (ИК)-спектроскопии наиболее распространен для мониторинга нефтяных углеводородов (УВ). Метод позволяет определять сумму алифатических УВ и ПАУ. При этом измеряют содержание как нефтяных УВ антропогенного происхождения, так и продуцируемых водными организмами. Метод может быть реализован как в варианте регистрации спектра поглощения в указанной области с помощью традиционного или Фурье-спектрометра, так и в более простом варианте, при котором используется анализатор, измеряющий интегральное поглощение в области 2900–3000 см⁻¹, в которой наблюдаются наиболее интенсивные полосы, соответствующие асимметричным валентным колебаниям групп СН₃ и СН₂. ИК-спектроскопия применима для анализа природных вод и промышленных стоков при концентрации нефтяных углеводородов от 0,1 до 50 мг/литр, не требует отгонки растворителя и нагрева экстракта, что исключает потерю УВ с низкой температурой кипения. Основное достоинство метода – слабая зависимость аналитического сигнала от типа нефтепродукта, составляющего основу загрязнения пробы. Трудности, возникающие при использовании этого метода, связаны с мешающими влияниями липидов и других полярных соединений. Кроме того, в ряде водоемов содержание нефтепродуктов может достигать 200 мг/л, что делает метод ИК-спектроскопии недостаточным для количественного анализа.

В [6] систематизированы вопросы дистанционного мониторинга водных сред при их загрязнении НП и методов биоиндикации и биотестирования почв. Освещены возможности методов активного (лидары, лазеры) и пассивного (тепловизионные системы, многоспектральные сканеры, тепловизоры, СВЧ-радиометрия и др.) зондирования, которые позволяют обнаруживать (а в некоторых случаях измерять толщину) пленки нефти на поверхности воды и почвы. Эти методы незаменимы в экомониторинге для «быстрого реагирования» в случае аварий на танкерах и нефтепроводах, особенно в труднодоступных районах, но малоприспособлены для целей идентификации и количественного определения примесей НП в воде маслоохладителей турбоагрегатов. Поэтому актуально создание более простых, надежных и недорогих индикаторов, непрерывно контролирующих протечки масла в сточные воды электростанций. Стоит отметить, что кроме маслоохладителей турбоагрегата на станции

присутствует значительное количество другого оборудования, через которое возможна утечка нефтепродуктов: маслоохладители питательных электронасосов, трубопроводы мазутных стоков, маслоохладители системы регулирования и т.д. Кроме того, существует проблема выбора наилучшего места на оборудовании для установки датчика и возможности локализации места утечки масла. Разработка и массовое применение доступных отечественных индикаторов наличия нефтепродуктов в воде необходимы для создания реальной системы мониторинга экологического состояния оборудования и повышения экологической безопасности ТЭС и АЭС в целом.

В заключение отметим, что пути повышения экологической надежности маслonaполненного оборудования включают как разработку надежных конструкций из передовых материалов, так и создание новых приборов и систем мониторинга для предотвращения и минимизации экологических последствий возможных утечек масел.

Литература

1. Энергетика и охрана окружающей среды // Под ред. Н.Г. Залогина– М.: Энергия, 1979. - 351 с.
2. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. М., 2003. 147 с.
3. Анализ повреждаемости маслоохладителей паровых турбин / В.Н. Казанский, Р.Н. Смолин, А.С. Щекина, Н.П. Яковлева // Энергомашиностроение. 1982. № 2. С.32–33.
4. Бродов Ю.М., Рябчиков А.Ю., Аронсон К.Э., Желонкин Н.В. Новые маслоохладители для турбин большой мощности ЗАО УТЗ /Теплоэнергетика. 2014. №12. С. 42-46
5. Пермяков В.А. Теплообменники вязких жидкостей, применяемые на электростанциях / В.А. Пермяков, Е.С. Левин, Г.В. Дивова. Л.: Энергоатомиздат, 1983. 175 с.
6. Методы определения нефтепродуктов в водах и других объектах окружающей среды (обзор) / И.И. Леоненко, В.П. Антонович, А.М. Андрианов, И.В. Безлущкая, К.К. Цымбалюк.: Методы и объекты химического анализа, 2010, т.5, №2, с.58-72.

ENVIRONMENTAL SAFETY INCREASING OF OIL COOLERS OF TPP AND NPP

Aronson K.E.², Balakin D.Yu.², Zhelonkin N.V.², Starostin A.A.^{1,2}, Shangin V.V.¹, Shleymovich E.M.²

¹ The Institute of Thermal Physics of Ural Branch of the RAS, Yekaterinburg, Russia

² Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The issues of structural and diagnostic components of the environmental reliability increasing of oil coolers as part of heat and power equipment are considered. The environmental damage from oil leaks is many times greater than the cost of creating high-reliability structures and monitoring systems. The use of structural materials made of stainless steels is promising. The development of devices for monitoring the content of oil impurities in water should be carried out on the basis of optical technologies. The creation and application of accessible domestic indicators of the presence of oil products in water is necessary to create a real system for monitoring the state of oil-filled equipment and improve the environmental safety of thermal power plants and nuclear power plants as a whole.

О МЕТОДИКЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ВОДНОЙ СРЕДЫ

д.ф.-м.н., проф. Ф.А. Мкртчян, к.ф.-м.н. В.В. Климов, к.ф.-м.н. В.Ю. Солдатов, Л.А. Красножен, М.А. Мкртчян

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН.

Описана структура и функции экспертной системы для автоматизации гидрофизических исследований с целью получения оперативной информации о состоянии физико-химических характеристик водных объектов различного типа. Система оснащена алгоритмами идентификации загрязнителей водной среды по измерениям их спектральных образов. В качестве входной информации используются данные многоканальных измерений в оптическом диапазоне электромагнитного спектра. Описан алгоритм обучения и распознавания спектральных образов водных объектов.

Ключевые слова: спектр, идентификация, загрязнитель, водная среда, обучение

Работа выполнена в рамках Госзадания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

Проблема диагностики состояния водной среды рассматривается во многих национальных и международных программах по охране окружающей среды. Знание качества водных ресурсов важно для многих сфер жизни населения планеты. Ведь запасы пресной воды на нашей планете представляют единый ресурс, структура и содержание которого зависят от множества природных и антропогенных факторов. Основные проблемы нарушения баланса качества водных экосистем связаны с несоответствующей очисткой сточных вод, утратой и разрушением водосборных площадей, нерациональным размещением промышленных предприятий, обезлесиванием и не оптимальными методами ведения сельского хозяйства. Преодоление возникающих здесь проблем связано с необходимостью создания эффективных систем диагностики качества водных ресурсов и разумного их размещения в пространстве.

Совместное применение технических средств и software для оперативного мониторинга водной среды развито недостаточно из-за сложности синтеза комплексной системы мониторинга. Особенно сложны задачи сочетания алгоритмического обеспечения с уровнем информационного обеспечения системы мониторинга. Актуальная задача экологического мониторинга требует разработки компактных прецизионных поляризационно-оптических и микроволновых приборов экспресс анализа жидких сред. При этом эффективность решения многопараметрических задач в большой мере определяют чувствительность и точность приборов, их универсальность, возможность использования широкого спектрального диапазона. Спектральные измерения в водной среде дают информативную базу для применения современных методов и алгоритмов распознавания и идентификации загрязнителей этой среды.

В институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук впервые созданы устройства, основанные на принципах многоканальной регистрации спектров ослабленного, отраженного или рассеянного света, а также системы диагностики окружающей среды в микроволновом диапазоне. Использование оперативных измерений спектрометрии и радиометрии совместно с методами обработки данных впервые реализовано в ряде диагностических систем, структура и функциональные возможности которых описаны в работах [1-5]. Здесь предлагается система экспертного уровня с набором операций по диагностике качества водной среды на основе входных данных, полученных с помощью указанных диагностических систем.

Задача обнаружения и идентификации загрязнителей водной среды, особенно пятен нефтепродуктов на поверхности водоемов, решается многими исследователями [1-7]. Созданная за последнее время технология адаптивной идентификации элементов окружающей среды по данным спектральных измерений в видимом и микроволновом диапазонах позволяет перейти к синтезу экспертной системы (ЭС) для адаптивной идентификации параметров окружающей среды. Элементы ЭС описаны в различных их модификациях в работах [1-5]. В структуру ЭС входят компактный многоканальный спектроэллипсометр (КМС), многоканальное микроволновое устройство (ММУ), информационный интерфейс с компьютером (ИИК), пакет компьютерных программ (ПКП) и расширяющаяся база данных (РБД). Блок ПКП реализует ряд алгоритмов обработки потоков данных от КМС и ММУ и обеспечивает сервисные функции визуализации и управления режимом измерений. Блок РБД состоит из наборов эталонов спектральных образов водных растворов и пятен загрязнителей на поверхности водоема, изображаемых точками в многомерном векторном пространстве признаков, предварительно рассчитанных на основе обучающих выборок. Схематически структура функционирования ЭС представлена на рис. 1.

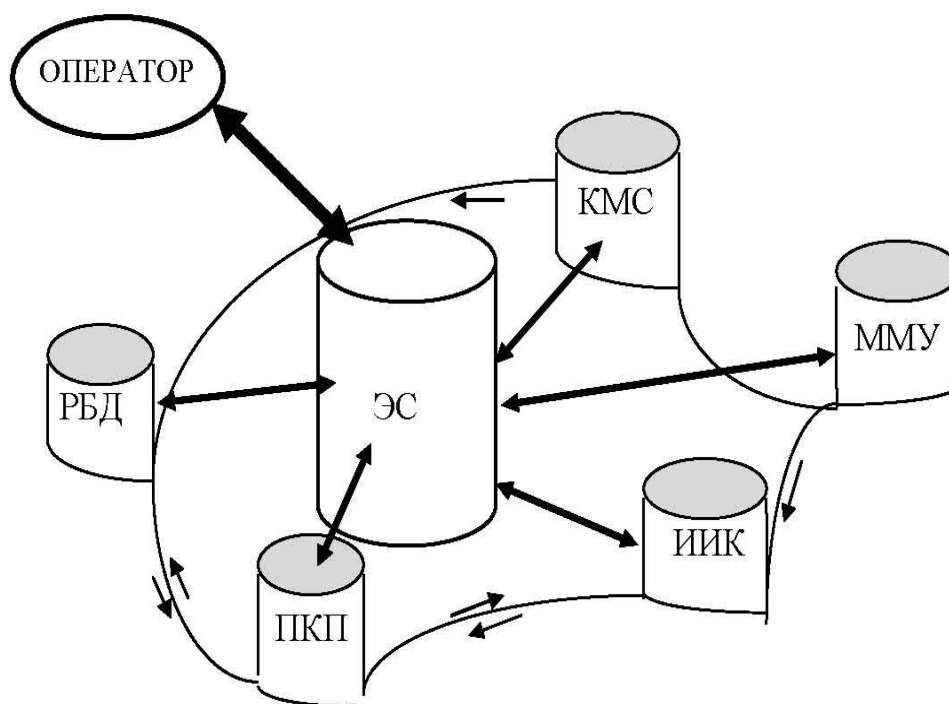


Рис. 1. Функциональная структура экспертной системы адаптивной идентификации параметров водной среды на основе спектральных измерений в оптическом диапазоне.

Для демонстрации функций ЭС здесь будет рассмотрен только оптический диапазон. Детальное описание функций ЭС при использовании сенсоров микроволнового диапазона дано в [3]. Принцип функционирования ЭС основан на фиксации изменений светового потока на выходе КМС или радиояркостных температур на входе ММУ и преобразование их в цифровой код. Дальнейшая обработка этих данных по своей эффективности определяется составом ПКП, куда включены различные алгоритмы распознавания спектральных образов или решения обратной задачи микроволновой радиометрии.

Адаптивность процедуры распознавания определяется уровнем накопления знаний об особенностях флуктуации интенсивности и поляризационных качествах рассеянного в водной среде или отраженного света от водной поверхности. В состав ПКП входят средства, позволяющие в случае неопределенности ситуации с идентификацией типа загрязнителя принимать экспертное решение на основе визуального анализа его спектрального образа. Эта процедура реализуется в режиме диалога с ЭС и если решение принято, то оператор может фиксировать его в базе данных в форме эталона для последующих ситуаций возникновения аналогичных загрязнителей.

Принципиальная схема блока ПКП, обеспечивающего процедуру идентификации, представляет собой некоторое преобразование Φ (рис. 2, табл. 1). Интенсивность света ξ_j^i , регистрируемая в момент времени t_i в канале λ_j поступает в алгоритм Φ , где реализуется процедура различения двух гипотез H_0 и H_1 (рис. 2). Оператор ЭС определяет начальные данные v_i , α и β , а также решает какие параметры $\mathbf{u}_i = (u_1, \dots, u_r)$ будут рассчитаны на основе измерений $\{\xi_j^i\}$. Сервисный блок ИИК дает возможность сформировать вектор $\mathbf{u}_i$ из статистических характеристик рядов $\{\xi_j^i\}$ или использовать непосредственные измерения. Априорная информация характеризует тип распределения $f_a(\mathbf{u}_i)$. Функция

$$L_i = \sum_{j=1}^m f_{a1}(u_i^j) / f_{a0}(u_i^j)$$

сравнивается с ее предельными значениями $L_{i,min}$ и $L_{i,max}$. На первом этапе эти величины выбираются достаточно произвольно, но затем они изменяются до достижения максимальной точности распознавания гипотез H_0 и H_1 . Мы имеем $L_{i,min} \rightarrow L_{i,min}^*$ и $L_{i,max} \rightarrow L_{i,max}^*$. Величины $L_{i,min}^*$ и $L_{i,max}^*$ запоминаются в РБД.

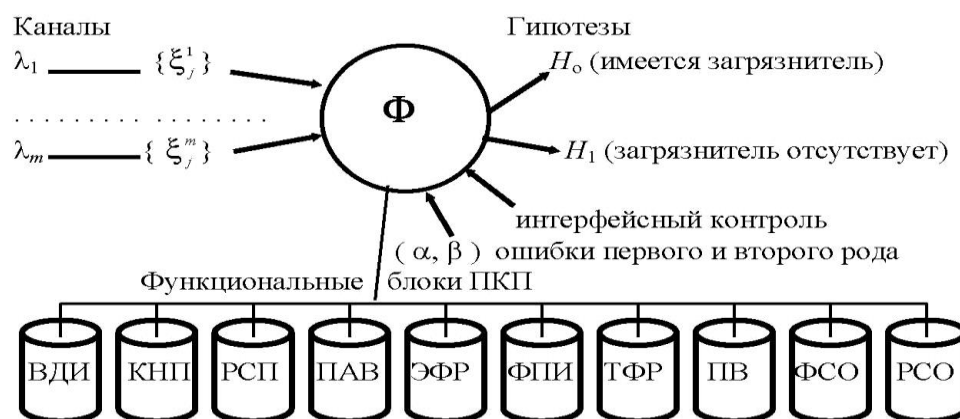


Рис. 2. Концептуальная блок-схема процедуры идентификации типов загрязнителей водной среды и их пятен на водной поверхности. Обозначения расшифрованы в табл.1.

Таблица 1. Описание блоков ЭС, указанных на схеме рис. 2.

Блок	Характеристика блока
ВДИ	Визуализация данных измерений.
КНП	Критерий Неймана-Пирсона.
РСП	Расчет статистических параметров и других характеристик, формирование векторного пространства $\{\mathbf{u}_i\}$
ПАВ	Последовательный анализ Вальда при принятии решения.
ФСО	Формирование спектральных образов.
РСО	Распознавание спектральных образов.
ЭФР	Эмпирические функции распределения.
ФПИ	Функций пользовательского интерфейса.
ТФР	Теоретические функции распределения.
ПВ	Процедуры визуализации.

Наряду с формированием статистических рядов по каналам измерений в базе данных создаются кластеры эталонных спектральных образов водных растворов с идентификацией их по типам химических веществ и их концентрациям. Для информативного индикатора каждого спектра был использован метод кодировки, принятый при распознавании сигналов в радиотехнике. Для каждого спектра создавался векторный индикатор-образ $\Xi(A_1, \dots, A_n, Y)$ [3], где A_i – одна из характеристик спектра (например, количество максимумов или максимальная производная), Y – физическая характеристика водного раствора (например, концентрация загрязнителя). Образец регистрируемых значений спектра имеет вид, представленный рис. 3.

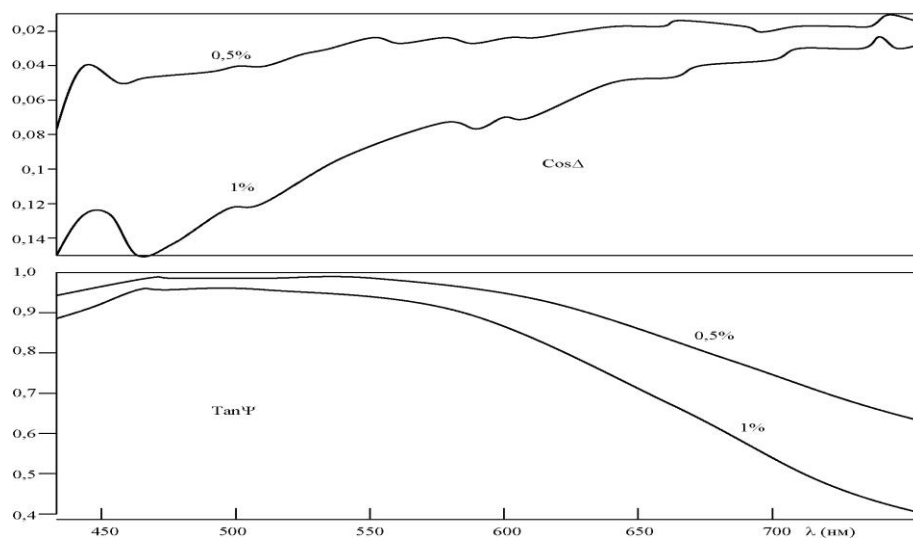


Рис. 3. Спектральные образы водного раствора Na+Cu+Zn+Mn + глюкоза.

Идентификация спектрального образа испытуемого раствора осуществляется путем сопоставления его индикатора-образа Ξ с набором эталонных векторов в базе данных. Эта процедура реализуется блоком РСО. В зависимости от используемого измерительного прибора спектральный образ представлен одним вектором для микроволновых датчиков и двумя векторами для спектроэллипсометра (спектрополяриметра). В последнем случае при измерениях для каждого раствора определяются два вектора: один Ξ_A для интенсивности света на фотодетекторе $\{\text{Cos}\Delta(\lambda_i)\}$, другой Ξ_Ψ для тангенса относительного сдвига фаз двух ортогональных поляризованных компонент $\{\text{Tan}\Psi_i\}$ [1,2]. Идентификация образца осуществляется путем поиска в базе эталонов образцов, имеющих минимальное удаление от полученных спектров. Расстояние между векторами рассчитывается по среднему значению:

$$\delta = \min_n \rho(\Xi - \Xi_n) = \frac{1}{2n} \min_i \left[\sum_{j=1}^n |X_j - A_j^i| + \sqrt{\sum_{j=1}^n (X_j - A_j^i)^2} \right]$$

Применение этой формулы дает большую точность по сравнению с использованием только отклонения по абсолютной разнице компонент векторов или только по среднеквадратическому отклонению.

После обучения функционирование ЭС ограничивается только количеством измерений, фиксируемом оператором исходя из соображений достижимости статистической достоверности и сохранения режима реального времени. Оператор имеет две возможности регулировать этот режим, устанавливая объем рядов $\{\xi_i^j\}$ или фиксируя время их накопления. Рис. 4 показывает эту процедуру. Оператор связывается с различными блоками ЭС через человеко-машинный интерфейс ИИК, который обеспечивает селективность управления операциями всех блоков.

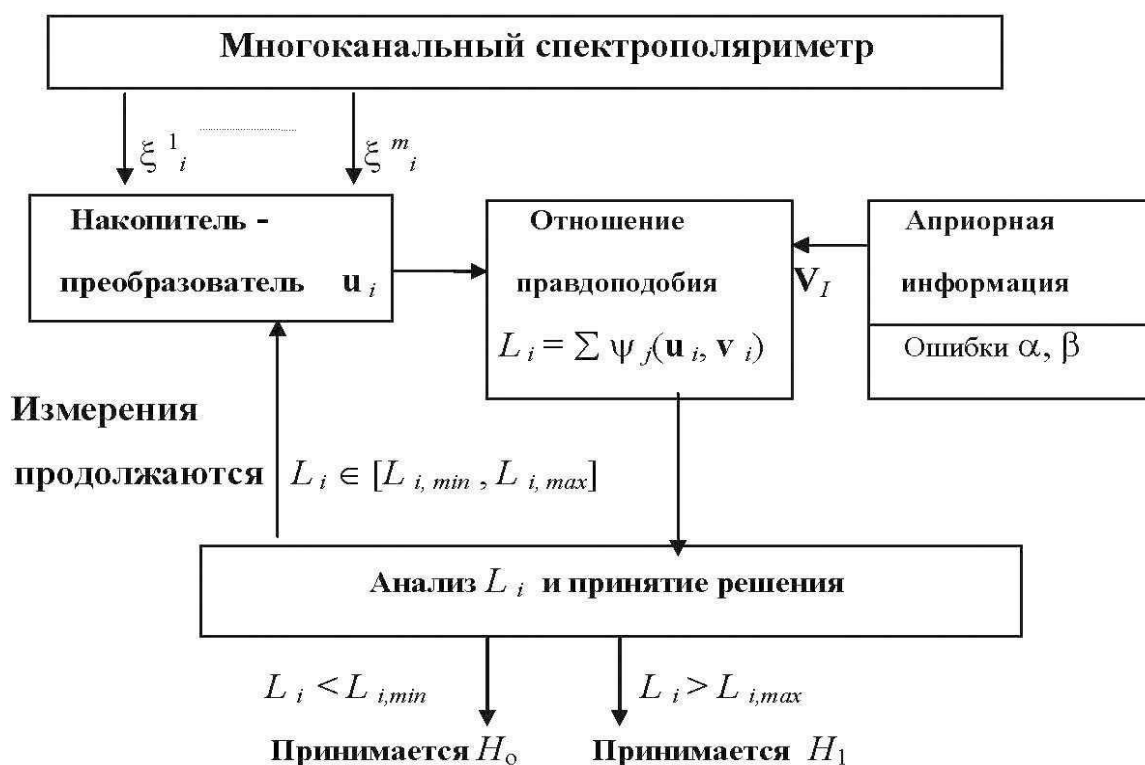


Рис. 4. Процедура последовательного анализа для различения гипотез H_0 и H_1 .

При наличии на поверхности воды пленки нефти система анализирует ее толщину, возраст, источник и геометрическую конфигурацию. Наиболее информативными в этом случае являются ряды данных измерений на длинах волн 398 нм, 439 нм и 480 нм. В случае растворенных или взвешенных в водной среде компонентов система оценивает их концентрацию, а при наличии данных в блоке РБД о гидродинамических параметрах водного тела рассчитывает их пространственное распределение. Результаты табл. 2 характеризуют уровень эффективности предложенной методики идентификации загрязнителей водной среды.

Таблица 2. Сравнение оценок физико-химических параметров р. Сайгон, рассчитанных по описанной методике, с лабораторными анализами. Обучение и тестирование ЭС реализовано по данным измерений, проводившихся в течение ряда лет по программе научного сотрудничества РАН и ВАНТ. Обозначения: Δx - расстояние вдоль русла реки (км) от контрольной точки (центр г. Хошимина), ЕМФ – единица мутности по Формазину, М - теоретическая оценка по методике, L- лабораторный анализ.

Δx (км)	Физико-химические параметры р. Сайгон								
	Мутность (ЕМФ)			Взвешенные вещества (мг/л)			Нефтепродукты (мкг/л)		
	М	L	Ошибка (%)	М	L	Ошибка (%)	М	L	Ошибка (%)
0	68	66	3,0	51,5	50,2	2,6	0,42	0,38	5,3
1	73	69	5,8	49,7	52,9	7,0	0,51	0,44	5,9
5	87	84	3,6	70,3	65,7	7,0	0,55	0,48	4,6
10	89	92	3,3	88,6	90,4	2,0	0,72	0,65	7,6
15	87	91	4,4	81,3	77,7	4,6	0,61	0,55	0,9

Литература

1. Крапивин В.Ф., Мкртчян Ф.А., Климов В.В., Ковалев В.И., Руковишников А.И., Солдатов В.Ю. Измерения и идентификация водных растворов на основе спектроэллипсометра // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2012, №10, с. 116-136.
2. Крапивин В.Ф., Солдатов В.Ю., Потапов И.И. Адаптивная информационно–моделирующая система для гидрофизических исследований // Экологические системы и приборы. 2013. №2. С. 29-39.
3. Krapivin V.F. and Shutko A.M. Information technologies for remote monitoring of the environment. Chichester U.K.: Springer/Praxis, 2012. 498 pp.
4. Krapivin V.F. and Mkrtychyan F.A. Spatial simulation model of dynamics of the Arctic Basin pollution // Proceedings of the 27th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice. 19-24 February, 2012. Mombetsu, Hokkaido, Japan. Mombetsu: The Okhotsk Sea & Cold Ocean Association, 2012. P. 65-68.
5. Mkrtychyan F.A., Krapivin V.F., Kovalev V.I., and Klimov V.V. An Adaptive multi-channel spectroellipsometer for ecological monitoring // ISPRS Hannover Workshop 2011. High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information. June 14-17, 2011, Hannover, Germany, pp. 143-147.
6. Shahin M. Water Resources and Hydrometeorology of the Arab Region // Berlin: Springer, 2007. 586 pp.
7. Sharad K.J. Pushpendra K.A., and Vijay P.S. Hydrology and Water Resources of India // Berlin: Springer, 2007. 1262 p.

ON THE METHOD OF IDENTIFYING WATER POLLUTANTS

F.A. Mkrtychyan, V.V. Klimov, Soldatov, L.A. Krasnozhen, M.A. Mkrtychyan

Fryazino branch of the Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics RAS.

The structure and functions of an expert system for automating hydrophysical research in order to obtain operational information on the state of the physicochemical characteristics of water bodies of various types are described. The system is equipped with algorithms for identifying water pollutants by measuring their spectral patterns. The data of multichannel measurements in the optical range of the electromagnetic spectrum are used as input information. An algorithm for learning and recognizing the spectral images of water bodies is described.

Keywords: spectrum, identification, pollutant, aquatic environment, trainin

The work was carried out within the framework of the State Assignment of the Kotelnikov IRE RAS.

ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ МОСКВЫ В ПОСТКОВИДНЫЙ ПЕРИОД (ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ СЕЗОН 2022)

к.х.н. Ваховская З.С.¹, к.г.н. Власов Д.В.², д.г.н. проф. Кошелева Н.Е.¹

¹ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

² Университет штата Иллинойс, Нормал, Иллинойс, США

Атмосферные осадки являются значимым фактором очищения атмосферы от загрязняющих веществ. В Москве во время локдауна для борьбы с распространением COVID-19 из-за снижения антропогенной нагрузки весной 2020 г. уменьшилось загрязнение атмосферы и, как следствие, осадков многими потенциально токсичными элементами (ПТЭ), однако выросли концентрации Р, Pb, Cd, Ag, Sb, As в результате адвекций воздуха из пригородов. Поскольку характер распределения форм ПТЭ в атмосферных осадках в теплый сезон при отсутствии ограничительных мер до конца не ясен, проведена количественная оценка содержания ПТЭ в осадках Москвы за полугодовой период (весна-лето 2022 г.). Максимальные концентрации большинства растворенных ПТЭ наблюдались в начале августа из-за малого количества осадков, а нерастворенных ПТЭ – в конце апреля из-за длительного засушливого периода после схода снежного покрова, что указывает на существенную роль городской атмосферной пыли в загрязнении осадков ПТЭ. В 2022 г. вновь подтвердилась ранее установленная тенденция роста загрязнения осадков в Москве во время майских праздников в результате адвекций дыма из пригородов. За весь апрель-сентябрь 2022 г. в растворенной фазе преобладали (указаны по уменьшению доли растворенной фазы) S, Pb, Sb, Zn, Sr, Cu, Cd, As, Mn, Ba, Co; в нерастворенной фазе находились преимущественно Ti, Sn, Al, W, Fe, Ag, Bi, Cs, Mo, Sc, Rb, Ni, P. Соотношение форм ПТЭ в осадках рассматриваемого периода в целом соответствовало ранее установленному соотношению для весеннего периода без ограничений в 2018 г. и весенне-летнего периода ограничительных мер в 2020 г.

Введение. В городах в результате антропогенного воздействия промышленных объектов и транспорта происходит загрязнение атмосферного воздуха аэрозолями различного размера, обогащенными потенциально токсичными элементами (ПТЭ), к числу которых относится большое количество химических элементов, в первую очередь – тяжелых металлов и металлоидов [4]. Изучение состава атмосферных осадков (дождя и снега) позволяет оценить интенсивность вымывания загрязняющих веществ из атмосферы и выпадения их на земную поверхность в разных формах – жидкой, наиболее реакционно и миграционно активной и способной включаться в биологический круговорот, и твердой, накапливающейся в поверхностных горизонтах городских почв и дорожной пыли и являющейся источником вторичного загрязнения атмосферы при выдувании частиц с земной поверхности [3, 5, 6].

В Москве во время локдауна, действовавшего весной 2020 г. для борьбы с распространением COVID-19, из-за снижения антропогенной нагрузки (в основном, количества автотранспорта) уменьшилось загрязнение атмосферы и, как следствие, осадков многими ПТЭ. Однако выросли концентрации растворенных и нерастворенных форм Р, Pb, Cd, а также растворенных Ag, Sb, As в результате адвекций воздуха из пригородов, где сжигались дрова, уголь, бытовые и сельскохозяйственные отходы выехавшими туда москвичами [8]. После снятия ограничений уровень загрязнения атмосферных осадков в Москве начал восстанавливаться. Однако характер распределения форм ПТЭ в атмосферных осадках Москвы в теплый сезон вне ограничительных мер до конца не ясен. Мониторинг ПТЭ в осадках необходим для лучшего понимания их распределения и изменчивости по сезонам, так как уровень их содержания может существенно варьировать. Поэтому цель данной работы – оценка содержания ПТЭ в атмосферных осадках Московском мегаполисе в полугодовой постковидный теплый период (весна-лето 2022 г.).

Методы и материалы. Мониторинг осадков включал отбор суточных эпизодов осадков с 16 марта 2022 г. по 15 сентября 2022 г. на территории Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова (МО МГУ; 55,707° с.ш., 37,522° в.д.), расположенной рядом с Ботаническим садом МГУ, вдали от источников промышленного загрязнения и крупных автомагистралей. Выбор периода с марта по сентябрь определялся вариабельностью характеристик осадков в Московском регионе, которые имеют выраженный сезонный ход [2]. Период исследования включал сезон смешанных осадков и сезон кислых дождей. Сбор атмосферных осадков (62 случая) осуществляли в пластиковую поливинилхлоридную воронку 80×80 см и пластиковые белые ведра. Эпизоды с осадками менее 0,5 мм не анализировались из-за недостаточного объема пробы. В теплое время года пробы анализировали сразу, в холодный период оставляли при комнатной температуре для оттаивания на 24 ч перед

анализом. Измерение pH проводилось с помощью pH-метра «ЭКСПЕРТ-001-3pH» (Россия), удельной электропроводности (УЭП) – с помощью кондуктометра «ЭКСПЕРТ-002-2-6-П» с интерфейсом RS232C (Россия).

Пробы осадков фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм (EMD Millipore, США) для отделения твердой фазы (фильтр со взвешенными частицами) от жидкой (фильтрат), которые затем анализировались отдельно на содержание растворенных и нерастворенных форм ПТЭ. По массе взвеси на фильтре рассчитывалось содержание твердых частиц в дождевой воде (S , мг/л): $S = m / V$, где m – масса взвеси на фильтре, мг; V – объем профильтрованной воды, л. Массу фильтра определяли на аналитических весах «Discovery DV114C» (Ohaus, Швейцария, воспроизводимость 0,1 мг). Концентрации растворенных и нерастворенных ПТЭ измеряли в лаборатории ВНИИ минерального сырья им. Н.М. Федоровского масс-спектральным (ICP-MS) и атомно-эмиссионным методами (ICP-AES) с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре «iCAP Qc» (Thermo Scientific, США) и атомно-эмиссионном спектрометре «Optima-4300 DV» (Perkin Elmer, США) с использованием стандартных эталонных материалов и холостых проб. Предел обнаружения элементов (мкг/л): Al (0,73), P (11), S (7,8), Sc (0,074), Ti (0,55), Mn (0,054), Fe (3,7), Co (0,075), Ni (0,14), Cu (0,31), Zn (0,52), As (0,050), Rb (0,0049), Sr (0,041), Mo (0,0087), Ag (0,0027), Cd (0,0049), Sn (0,007), Sb (0,0029), Cs (0,0008), Ba (0,052), W (0,0051), Pb (0,011), Bi (0,0008); Cr (0,85), Se (0,30), Ga (0,035).

Из-за сильной вариабельности концентраций ПТЭ в дождях от одного эпизода к другому для корректного сравнения отдельных периодов рассчитаны объемно взвешенные концентрации ПТЭ: $C_{ов} = (\sum(C_i \cdot X_i)) / X_s$, где C_i и X_i – содержание ПТЭ (мкг/л) и количество выпавшей влаги (мм) в i -ый эпизод выпадения осадков, X_s – количество выпавшей влаги за период усреднения (мм).

Для оценки преобладающей формы ПТЭ рассчитывалась растворенность (или доля растворенной формы, K_z): $K_z = 100\% \cdot C_{sol} / C_{tot}$, где C_{sol} – концентрация растворенной формы ПТЭ, мкг/л, C_{tot} – сумма концентраций растворенной и нерастворенной форм ПТЭ, мкг/л.

Результаты и обсуждение. Характеристики и физико-химические свойства атмосферных осадков. Основные характеристики атмосферных осадков и их физико-химические свойства в изученный период представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики осадков за период 16.03.2022 - 15.09.2022

Период	16.03-31.03	01.04-15.04	16.04-30.04	01.05-15.05	16.05-30.05	01.06-15.06	16.06-30.06	01.07-15.07	16.07-30.07	01.08-15.08	16.08-30.08	01.09-15.09
Показатель	март	апрель		май		июнь		июль		август		сент.
Кол-во эпизодов осадков	4	8	6	5	7	6	3	7	5	1	1	9
		14		12		9		12		2		
Суммарный слой осадков, мм	10,3	51,4	18,7	12,1	56,2	24,4	18,6	47,5	27,5	1,7	0,3	16,6
		70,1		68,3		43,0		75,0		2,0		
pH	6,15	4,79	6,18	5,75	4,68	5,14	4,80	4,53	4,70	5,90	5,80	4,83
		5,39		5,12		5,02		4,60		5,83		
pH объемно взв.	6,31	4,94	5,98	5,64	4,62	5,45	4,59	4,63	4,71	5,85	5,80	4,66
		5,25		4,80		5,07		4,66		5,84		
УЭП объемно взв., мкСм/см	91,4	46,9	44,2	90,8	35,1	51,9	73,1	46,4	35,7	278	1247	106,6
		46,2		45,0		61,1		42,5		423,4		

Количество и интенсивность осадков значительно варьировали. Большинство осадков характеризовались небольшими дождями объемом менее 5 мм/сут. (68% проб от общего количества). В изученный период выделены три эпизода с наибольшим объемом выпавшей влаги: 33,8 мм/сут. 27 мая, 23,4 мм/сут. 10 июля и 17,2 мм/сут. 2 апреля, которые суммарно составляют четверть (26%) от общего количества осадков за весь анализируемый период.

Доля кислотных дождей (с pH < 5,0) за исследуемые период 2022 г. составила в апреле 36%, мае 42%, июне 67 %, июле 83%. Максимальное значение pH $6,90 \pm 0,03$ зафиксировано в смешанных

осадках 26 марта, минимальное значение $pH\ 4,10 \pm 0,03$ – во время дождя 6 июля. Снижение pH осадков от весны к лету с минимальным pH в июле полностью соответствует многолетнему годовому ходу pH осадков [1]. Резкий рост pH в августе относительно июля (и относительно средних многолетних значений), вероятно, связан с малым количеством дождей и их незначительным суммарным слоем в августе: за месяц выпало всего 2 мм осадков, два эпизода 1,7 мм (8 августа) и 0,3 мм (20 августа) соответственно. При редких дождях малой интенсивности в атмосфере увеличивается концентрация пыли, при вымывании которой осадками происходит частичное растворение твердых частиц и повышение pH раствора [7].

Изменение УЭП, характеризующей общее содержание растворенных соединений в осадках, было существенным весной-осенью 2022 г. Неравномерное распределение количества осадков повлияло на уровень загрязнения выпавшей влаги – УЭП в осадках была максимальной (1247 мкСм/см) для второго дождя в августе (20 августа) со слоем 0,3 мм. В других образцах УЭП варьировала в апреле в диапазоне 19–158 мкСм/см, в мае – 22–111 мкСм/см, в июне 20–124 мкСм/см, в июле – 21–239 мкСм/см (таблица 1).

Содержание растворенных и нерастворенных ПТЭ. Содержание ПТЭ в атмосферных осадках в апреле-сентябре 2022 г. варьировало достаточно сильно. В фильтрате (растворенные ПТЭ) концентрации Cr и Se во всех пробах были ниже предела обнаружения, Ga обнаружен только в одной пробе смешанных осадков 6 апреля (0,043 мкг/л). В 82% проб концентрации растворенных форм Ti были ниже предела обнаружения, P – в 64,5% проб, Ag – в 52%, As – в 40%, Co – в 21%, Sb – в 19%, Mo – в 10%, W – в 10%, Sc – в 8%, Bi 3% проб. Концентрации Ni были ниже предела обнаружения только в одной пробе 12 апреля, когда четвертый день подряд выпадали осадки.

Максимальное количество нерастворимой фракции на фильтре зафиксировано в пробах малого объема: 6 июня содержание взвеси составило 160,4 мг/л в осадках слоем 0,8 мм, что может быть связано с активным цветением липы в этот период, которое способствовало накоплению биоаэрозолей (пыльцы) в атмосферном воздухе. Повышенное количество твердых частиц также установлено 27 апреля (156,0 мг/л в осадках слоем 0,6 мм). В пробе 8 августа с высокой УЭП содержание твердых частиц было чуть ниже и составило 151,7 мг/л. Концентрации нерастворенной формы Se были ниже предела обнаружения во всех пробах, Cd – в 65% проб, Sc – в 37%, As в – 10%, Mn и Co – в пробе от 16 сентября, P – в пробе от 12 апреля.

Объемно взвешенные за весь период исследования концентрации растворенных и нерастворенных ПТЭ, а также растворенность ПТЭ приведены в таблице 2.

Таблица 2

Минимальные, максимальные и объемно-взвешенные ($C_{ов}$) концентрации и растворенность (K_z) ПТЭ в атмосферных осадках Москвы за исследуемый период 16.03.2022 – 15.09.2022

ПТЭ	Растворенные ПТЭ, мкг/л			Нерастворенные, мкг/л			K_z , %
	мин.	макс.	$C_{ов}$	мин.	макс.	$C_{ов}$	
Al	5,6	460	54	96	6215	749	7
P	17,0	370	57	6,1	661	62	48
S	61,0	2370	387	1,2	313	37	91
Sc	0,079	0,83	0,11	0,04	1,4	0,24	31
Ti	0,63	3,80	1,0	9,9	481,5	60,4	2
Mn	2,2	160	12	1,0	70,0	7,7	61
Fe	6,3	800	92	136	5586	696	12
Co	0,08	2,0	0,27	0,03	1,9	0,19	59
Ni	0,19	8,4	0,81	0,18	52	1,2	40
Cu	2,60	36	7,5	0,68	22	2,9	72
Zn	15	310	45	1,10	80,0	7,5	86
As	0,057	1,10	0,19	0,02	1,3	0,11	63
Rb	0,14	2,8	0,52	0,15	9,2	0,95	35
Sr	2,0	82	12	0,30	38	2,7	82
Mo	0,012	0,23	0,037	0,02	1,4	0,092	29
Ag	0,003	0,044	0,009	0,006	1,0	0,046	16
Cd	0,021	0,42	0,083	0,011	0,12	0,032	72
Sn	0,008	0,15	0,021	0,12	2,8	0,44	5
Sb	0,70	190	15	0,14	3	2,4	86
Cs	0,003	0,062	0,011	0,005	0,37	0,038	22

Ba	3,2	77	13	1,4	93	9,2	59
W	0,006	0,13	0,022	0,04	3,2	0,24	8
Pb	5,9	24480	1046	9,6	1773	155	87
Bi	0,0015	0,12	0,015	0,001	0,40	0,056	21

Максимальные концентрации большинства растворенных ПТЭ (Al, P, S, Ti, Mn, Co, Zn, As, Mo, Cd) наблюдались в пробе атмосферных осадков 8 августа, вероятно, по двум причинам: во-первых, выпавшие осадки были малого объема, что препятствовало сильному разбавлению раствора, во-вторых, до этого эпизода осадки не выпадали довольно длительный период – с 28 июля, что, вероятно, явилось причиной повышенной концентрации пыли в воздухе, при вымывании которой концентрации ПТЭ возросли. Это подтверждается также данными о максимальных в этот же эпизод осадков 8 августа концентрациях нерастворенных Al, Cu, As, Rb, Cs, Sn, Ba, Pb, Bi в тонких частицах городских почв и дорожной пыли [9]. Существенная роль городской атмосферной пыли в загрязнении осадков нерастворенными ПТЭ подтверждается данными о максимальных концентрациях нерастворенных Sc, Ti, Mn, Fe, Co, Cd, W, Cr, Ni, Zn, Mo в пробах 26-27 апреля, что типично для весенних осадков Москвы после схода снежного покрова и длительного засушливого периода [7]. В постковидный период в апреле-сентябре 2022 г. подтвердилась ранее установленная тенденция роста загрязнения осадков в Москве во время майских праздников в результате адвекций дыма из пригородов [8]: концентрации нерастворенных S и P были максимальны в пробе 9 мая, а наибольшее содержание нерастворенного Sr зафиксировано 12 мая, что может быть связано с применением пиротехники при праздновании Дня Победы (это первые осадки после 9 мая).

В целом, соотношение форм ПТЭ в осадках апреля-сентября 2022 г. соответствовало ранее установленному для весеннего дождя периода 2018 г. [7] и весенне-летнего дождя периода 2020 г. [8]: в растворенной фазе (растворенность > 50%) преобладали S, Pb, Sb, Zn, Sr, Cu, Cd, As, Mn, Ba, Co (элементы указаны по уменьшению K_d), тогда как в нерастворенной фазе (растворенность < 50%) находились преимущественно Ti, Sn, Al, W, Fe, Ag, Bi, Cs, Mo, Sc, Rb, Ni, P (элементы указаны по увеличению K_d) (таблица 2).

Выводы. Впервые изученный в Москве химический состав атмосферных осадков в постковидный период в апреле-сентябре 2022 г. позволил уточнить данные о загрязнении дождей растворенными и нерастворенными ПТЭ, а также соотношение форм ПТЭ. Подтверждено, что в теплый период загрязнения осадков растворенными и нерастворенными ПТЭ увеличивается после длительных засушливых периодов и при выпадении малых объемов осадков. Типичное для дождя периодов закисление осадков к лету сохранилось и в постковидный период. Элементами с наибольшей растворенностью являются S, Pb, Sb, Zn, Sr, а с наибольшей долей нерастворенных форм в осадках – Ti, Sn, Al, W, Fe, Ag.

Исследование выполнено при финансировании Российским научным фондом (проект № 19-77-30004-П).

Литература

1. Еремина И.Д., Алоян А.Е., Арутюнян В.О., Ларин И.К., Чубарова Н.Е., Ермаков А.Н. Кислотность и минеральный состав осадков в Москве. Влияние противогололедных реагентов // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51. № 5. С. 700–709. <https://doi.org/10.7868/S0002351515050041>.
2. Еремина И.Д., Алоян А.Е., Арутюнян В.О., Ларин И.К., Чубарова Н.Е., Ермаков А.Н. Гидрокарбонаты в атмосферных осадках в Москве: данные мониторинга и их анализ // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53. № 3. С. 379–388. <https://doi.org/10.7868/S0002351517030075>.
3. Bayramoğlu Karşı M.B., Yenisoğlu Karakaş S., Karakaş D. Investigation of washout and rainout processes in sequential rain samples // Atmospheric Environment. 2018. Vol. 190. P. 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.07.018>.
4. Du L., Wang Y., Wu Z., Hou C., Mao H., Li T., Nie X. PM_{2.5}-bound toxic elements in an urban city in East China: concentrations, sources, and health risks // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2019. Vol. 16. Article ID: 164. <https://doi.org/10.3390/ijerph16010164>.
5. Kamei-Ishikawa N., Yoshida D., Ito A., Umita T. Cesium and strontium loads into a combined sewer system from rainwater runoff // Journal of Environmental Management. 2016. Vol. 183. P. 1041–1049. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.067>.
6. Vlasov D.V., Eremina I.D., Shinkareva G.L., Chubarova N.E., Kasimov N.S. Daily variations in wet deposition and washout rates of potentially toxic elements in Moscow during spring season // Geography, Environment, Sustainability. 2021. Vol. 14. № 1. P. 219–233. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2020-162>.

7. Vlasov D., Kasimov N., Eremina I., Shinkareva G., Chubarova N. Partitioning and solubilities of metals and metalloids in spring rains in Moscow megacity // *Atmospheric Pollution Research*. 2021. Vol. 12. Iss. 1. P. 255–271. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.09.012>
8. Vlasov D., Kasimov N., Eremina I., Shinkareva G., Chubarova N. Major ions and potentially toxic elements in atmospheric precipitation during the COVID-19 lockdown in Moscow megacity // *Urban Climate*. 2023. Vol. 48. Article ID: 101422. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101422>
9. Vlasov D.V., Vasil'chuk J.Yu., Kosheleva N.E., Kasimov N.S. Contamination levels and source apportionment of potentially toxic elements in size-fractionated road dust of Moscow // *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30. P. 38099-38120. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24934-1>

POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS IN MOSCOW ATMOSPHERIC PRECIPITATION DURING POST-COVID PERIOD (SPRING-SUMMER 2022)

Vakhovskaya Z.S.¹ Vlasov D.V.², Kosheleva N.E.¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

² Illinois State University, Normal, IL, USA

Atmospheric precipitation is a significant factor in the purification of the atmosphere from pollutants. In Moscow, during the lockdown to combat the spread of COVID-19, due to a decrease in anthropogenic load in the spring of 2020, atmospheric pollution and, as a result, pollution of precipitation with many potentially toxic elements (PTEs) decreased, but the concentrations of P, Pb, Cd, Ag, Sb, As increased as a result of air advection from the suburbs. Since the nature of the distribution of PTE forms in atmospheric precipitation during the warm season in the absence of restrictive measures is not completely clear, a quantitative assessment of the PTE content in Moscow precipitation over a six-month period (spring-summer 2022) was carried out. The maximum concentrations of most dissolved PTEs were observed in early August due to low precipitation, and that of undissolved PTEs were observed at the end of April due to a long dry period after the snow cover melted, which indicates a significant role of urban atmospheric dust in polluting PTE precipitation. In 2022, the previously established trend of increasing precipitation pollution in Moscow during the May holidays due to advection of fumes from the suburbs was again confirmed. For the entire period in April-September 2022, the dissolved phase was dominated S, Pb, Sb, Zn, Sr, Cu, Cd, As, Mn, Ba, Co (the elements are listed according to decreasing proportion of the dissolved phase); the undissolved phase contained mainly Ti, Sn, Al, W, Fe, Ag, Bi, Cs, Mo, Sc, Rb, Ni, P. The ratio of PTE forms in the sediments of the period under consideration generally corresponded to the previously established ratio for the spring period in 2018 without restrictions and the spring-summer period of restrictive measures in 2020.

ИСТОЧНИКИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ДОЛИНЕ РЕКИ СЕТУНЬ (ТЕРРИТОРИЯ МОСКВЫ И МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ): ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

проф. д.г.н., Битюкова В.Р., магистр. Акынжанов Т.Б.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России

В статье предложен метод идентификации и оценки степени влияния отдельных источников антропогенного воздействия при крупномасштабных исследованиях городской территории на примере бассейна реки Сетунь на юго-западе Москвы. Бассейновый подход позволяет оценить потенциал устойчивости ландшафтов, но в меньшей степени обеспечен статистическими данными. Поэтому был предложен метод сочетания официальной статистики по муниципальным районам с привязкой точечных объектов воздействия к полигонам функциональных зон с помощью ArcGIS и базы пространственных данных «Setun.gdb». В ArcGIS были выявлены все объекты потенциального влияния в бассейне р. Сетунь. Поскольку в бассейне находится одна и крупнейшая промзон Москвы со специализацией на строительной индустрии и пищевой промышленности, в территориальной структуре наблюдается высокий уровень локализации промышленного загрязнения в основном вокруг ТЭЦ и, напротив, увеличение равномерности и расширение в размещении стационарных непромышленных источников. Среди непромышленных источников преобладают объекты, связанные с ремонтом автомобилей, автомойки и шиномонтаж, АЗС, плотность размещения которых возрастает вблизи крупных автомагистралей, только четверть объектов расположены в селитебной зоне и СНТ. Выявлены объекты ЖКХ, влияющие на водные источники: снегоплавильные пункты, очистные сооружения, станции водоподготовки.

Введение. Трансформация экологической ситуации происходит под влиянием двух групп факторов: изменения антропогенного воздействия (АВ) и устойчивости природной среды. Поэтому бассейновый подход в оценке размещения источников загрязнения имеет существенное значение для оценки АВ, но с учетом того, что статистическая база организована только по муниципальным образованиям 1 уровня (муниципальные районы и городские округа), а статистика по предприятиям закрыта, необходима. Уровень АВ в Москве имеет сложную и разнонаправленную динамику.

Экологическая ситуация в Москве на современном этапе характеризуется значительным загрязнением атмосферы, поверхностных и подземных вод, изменением растительного и почвенного покрова, состоянием шумового загрязнения [3, 6]. Для бассейна реки Сетунь, расположенного в юго-западном секторе Московской агломерации, характерны многие общие для урбанизированных территорий закономерности: расширение селитебных территорий, интенсивный рост пригородов, усложнение функциональной структуры, реконструкция производственных и коммунальных зон, что неизбежно сопровождается изменениями природной среды. Деиндустриализация и модернизация основных энергетических активов привели к существенному снижению загрязнения атмосферы стационарными источниками.

Источники информации и методы оценки размещения источников воздействия.

В условиях отсутствия информации в разрезе отдельных предприятий основными источниками информации являются:

- муниципальная статистика (БДПМО) [1] и открытые данные Росприроднадзора об объемах и структуре выбросов в атмосферу, в том числе от сжигания топлива по ОКТМО [2];
- Проект ArcGIS (привязанные точечные объекты воздействия к полигонам функциональных зон;
- База пространственных данных «Setun.gdb».

ArcGIS позволил выявить помимо промышленности также и стационарные непромышленные источники (СНИ), роль которых в период постиндустриального развития города становится все больше: АЗС, бизнес-центры, медицинские учреждения, ЖКХ, транспорт, торговля, оборона, образование, разное. Несмотря на незначительные количества выбросов – суммарно около 6 тыс. т в год в целом по городу, представляют собой значительную опасность с точки зрения воздействия на окружающую среду. Особенно для АЗС, имеющих структуру выбросов схожую с НПЗ и транспортом и имеющих стимул к развитию в виде постоянно растущего автомобильного парка. СНИ имеют значительно более широкое распространение по территории бассейна, чем промышленные и более сложную структуру по видам.

В результате работы в ArcGIS были выявлены все объекты потенциального АВ в бассейне р. Сетунь. В основном это объекты, связанные с ремонтом автомобиля, автомойки и шиномонтаж.

Объекты обслуживания автомобилей – всего в пределах обследования территории (1466), из них: 206 автомоек, 422 СТО, 111 заправочных станций и др. 8 автозаправочных станций расположены в селитебной зоне, но в 7 расстояние до жилой застройки более 25 метров, однако в одной 22 метра (автозаправка Роснефти по адресу Улица Лобачевского, вл. 92 ст.1). Из 1466 объектов 346 расположены в селитебной зоне и СНТ (рисунок 1).

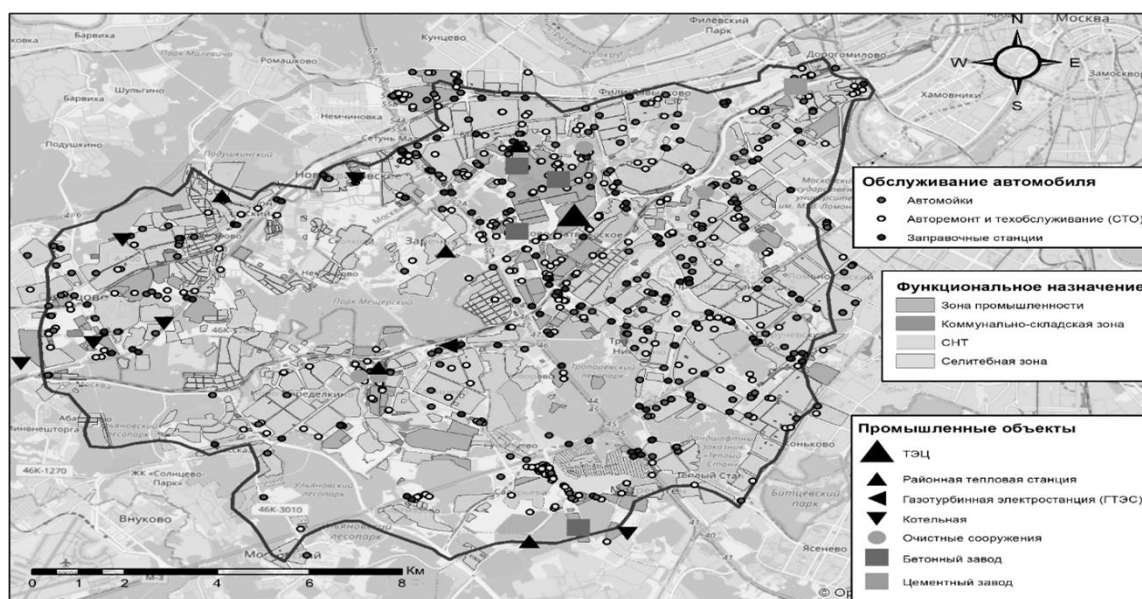


Рисунок 1. Источники антропогенного воздействия в бассейне р. Сетунь

Важным для оценки воздействия на бассейн реки являются объекты коммунального хозяйства, которые непосредственно связаны с водопотреблением и водоотведением. На данной территории расположены: снегоплавильный пункт и очистные сооружения, 2 канализационно-насосные станции,

западная станция водоподготовки. Снегоплавильные пункты – относительно новый источник АВ. В стоках при плавлении снега содержится весь спектр загрязнителей, осаждающихся на снеге от автомагистралей города (углеводороды и тяжелые металлы в результате истирания тормозных колодок и шин), а также большое количество органики в результате того, что мало кто в городе убирает за собаками, выгуливая их. Одновременно, они являются источниками запахов. Особой спецификой воздействия (преобладанием выбросов в атмосферу углеводородов и летучих органических соединений) характеризуется газораспределительный пункт "Очаковская".

Для промышленности ярко выделяется концентрация в 3 промзонах, для СНИ даже при их повсеместном распределении лишь в небольшом числе районов также отмечается яркое преобладание одного вида объектов. Среди промышленных объектов, кроме крупных предприятий, сконцентрированных в промзоне Очаково-Матвеевское и Солнцево, объекты теплоснабжения, ТЭЦ-25, 6 котельных и 5 районных тепловых станций, металлобазы, ремонтные мастерские и небольшие предприятия по производству товаров для строительства и ремонта (дверей, окон),

Оценка муниципальных районов. На территории бассейна полностью или частично находится 15 муниципальных округов Москвы, 4 поселения Новой Москвы и часть Одинцовского района Московской области. Объем выбросов больше 1000 тонн характерен только для МО, в которых есть объекты тепло-энергоснабжения – Очаковская ТЭЦ и котельная в Солнцево. Значительные объемы в Одинцовском районе Московской области и районе Дорогомилово в значительной степени находятся за пределами бассейна (рисунок 2).

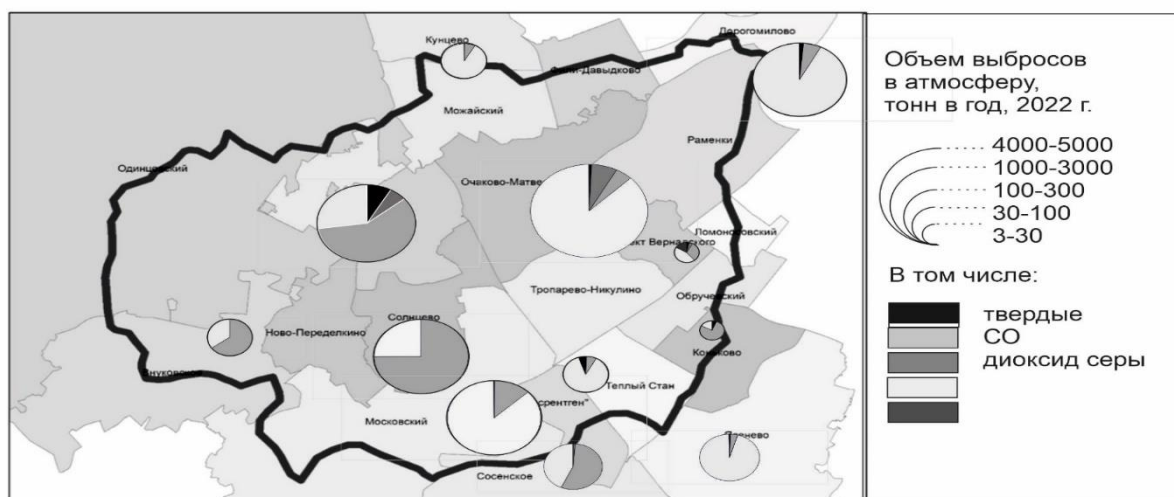


Рисунок 2. Объем и структура выбросов в атмосферу в муниципальных образованиях в бассейне р. Сетунь, 2022 г. (рассчитано по данным Росприроднадзора [2])

Лидером среди всех муниципальных районов является Очаково-Матвеевское, объем выбросов которого составляет около 4,5 тыс. тонн (2022) или 7,5% суммарного объема выбросов г. Москвы. В структуре выбросов заметно преобладают оксиды азота (87%). В районе действуют около 300 промышленных предприятий и организаций, но крупные источники выбросов сосредоточены в промзоне Очаково. Это одна из тех промзон, которые создавались в районе МКАД вокруг крупной ТЭЦ. Поскольку в этот период территория города сильно увеличилась, началось масштабное жилищное строительство, то основная специализация данных промзон – промышленность строительных материалов и пищевая промышленность.

В промзоне Очаково Южное согласно схеме функционального зонирования 87% территории занято производственными и хозяйственными корпусами, складами и гаражами, а также административными зданиями. Согласно планам, здесь планируется размещение складских помещений и ремонтные посты по обслуживанию автотехники из легковозводимых конструкций. Земельный участок расположен в границах производственной зоны № 37-А «Южное Очаково» включает здания и сооружения специализированного автотранспортного предприятия с открытой автостоянкой, которые не подлежат сносу. Общая площадь новых объектов составит почти 5,8 тыс. кв. метров.

Промзона Очаково Северное относится к оказывающим сильное воздействие. Одной из наиболее крупных станций Москвы является ТЭЦ-25, расположенная здесь, она производит 11% электроэнергии города и 8% тепла [5]. Выбросы ТЭЦ для такой мощности очень небольшие, станция

модернизирована и работает на газе (наибольший вклад в загрязнение вносят оксиды азота, присутствие небольшого количества взвешенных частиц обусловлено тем, что в качестве резервного топлива используется мазут). Поэтому выбросы не приводят к превышению ПДК ни в условиях, близких к среднегодовым, ни в условиях наиболее опасных скоростей ветра. Вблизи источника выбросов наблюдается зона пониженной концентрации загрязняющих веществ, что связано с эффектом ветровой тени, характерным для высоких источников. Радиус зоны варьирует от 300 м до 700 м в зависимости от загрязняющего вещества, скорости и направления ветра. Напротив, зона накопления загрязняющих веществ на северо-востоке исследуемой территории, в пределах которой их концентрация увеличивается более чем в 7 раз от среднего значения при метеорологических условиях, близких к среднегодовым. В условиях штиля наблюдается превышение концентраций более чем в 6 раз относительно средних на удалении около 1,5-6,5 км. При этом для более быстро оседающих взвешенных частиц максимум концентрации достигается ближе к источнику (0,8-1,5 км), а для хорошо рассеивающихся оксидов азота, диоксида серы и оксида углерода – дальше от источника выбросов (5,5-6,5 км) [4].

Источником твердых частиц являются предприятия стройиндустрии: домостроительный комбинат № 2 (ДСК-2), ЖБК ГАОО "Мосметрострой", за пределы города выведен кирпичный завод, возможно также асфальтовый завод. Московский пиво-безалкогольный комбинат «Очаково», межреспубликанский винодельческий завод, Московский комбинат шампанских вин, молочный завод не являются крупными источниками загрязнения. По данным снимков в промзоне возможно нелегальное сжигание мусора.

Анализ функционального зонирования территории промзоны отражает сохранение значительной части промышленных производств. Из непромышленных функций точно представлены торговля, офисно-деловые функции, продажа и обслуживание автомобилей. 61% территории промзоны занято производственными и хозяйственными корпусами, складами и гаражами, а также административными зданиями. Промзона находится в первой очереди на реорганизацию территории.

На 2 месте по объему выбросов на данной территории находится *Одинцовский муниципальный район* Московской области, структура выбросов его иная: 60% составляет монооксид углерода, 30% оксиды азота, 8% диоксид серы и 6% твердые частицы. Специализация территории в основном машиностроительная (Голицинский автобусный завод, Одинцовский завод по производству башенных кранов, авиаремонтный завод), промышленность строительных материалов (Голицинский керамический и кирпичный заводы, производство стеновых панелей и изделий из ПВХ), пищевая промышленность (производство кофе и кондитерская фабрика). Источником загрязнения в большей степени водных источников являются и предприятия агропрома - ЗАО «Петелинская птицефабрика», ЗАО «Агрокомплекс Горки-2» (сельскохозяйственная продукция, молоко). Однако, современные технологии позволяют значительно снизить данный вид нагрузки. Большая часть этих предприятий не входит в исследуемую территорию.

Третьим по объемам загрязнения является муниципальный район Солнцево, где расположены котельные, Газотурбинная электростанция (ГТЭС), Московский завод «Кока-Кола»

Выводы. Для территории бассейна реки Сетунь можно выделить следующие тенденции:

1. В целом уровень загрязнения атмосферы довольно низкий, объем выбросов составляет всего 8% от объема г. Москвы. В территориальной структуре размещения источников наблюдается высокий уровень локализации промышленных предприятий в промзоне Очаково-Северное, которая в силу своей специализации очень актуальной на современном этапе (топливная энергетика, промышленность строительных материалов и пищевая промышленность), характеризуется небольшим ростом загрязнения (на 1%). Несмотря на традиционное мнение о западном секторе города как о непромышленном округе, значительная часть промышленных предприятий здесь продолжает функционировать, непромышленной стала только промзона Очаково Южное.
2. Деиндустриализация промзон не только не реализуется, но и фактически не планируется. Планы реорганизации промзон представлены весьма скупо, территория не имеет значительного потенциала для развития: наименьшая совокупная доля производственных и хозяйственных корпусов, складов и гаражей, а также административных зданий превышает 80%.
3. С экологической точки зрения СНИ менее опасны, но учитывая их развитие, увеличение их количества и особенности распределения, нельзя не задуматься о появлении относительно нового, но очень перспективного источника загрязнения окружающей среды на локальном

уровне. В целом для СНИ были выделены следующие территориальные особенности распространения: СНИ концентрируются в пределах МКАД, а также они ориентированы на крупные дорожные магистрали.

Т.о. в последние годы в Москве наблюдается несколько различных тенденций:

- одновременно улучшается качество учета за счет непромышленных источников и недоучитывается влияние промзон, т.к. неизвестно, что происходит внутри;
- промышленная структура достигла пика упрощения, но за счет непромышленных источников структура девирсифицируется, появляются сложные выбросы лабораторий;
- отмечается рост объемов выбросов от ТЭЦ и нарастает децентрализация теплоснабжения, т.к. многие стационарные непромышленные источники являются автономными отопительными системами. Все это ведет к нестабильности экологической ситуации на территории города, а Москва остается весьма интересным предметом для изучения с эколого-географической точки зрения. В заключение, важно отметить, что влияние промзон еще шире и нуждается в дальнейших исследованиях из-за отсутствия экологической оценки направлений переспециализации производственных территорий в настоящее время.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке НИР 19-77-30004-П Технология оценки экологического состояния Московского мегаполиса на основе анализа химического состава микрочастиц в системе «атмосфера–снег–дорожная пыль–почвы–поверхностные воды» (Мегаполис).

Литература

1. База данных показателей муниципальных образований. Федеральная служба государственной статистики (Росстат), 2017 Электронный ресурс: <http://www.gks.ru>.
2. База данных Росприроднадзора (Федеральная служба по надзору в сфере природопользования). — URL: <http://rpn.gov.ru/opendata> (дата обращения 08.07.2022).
3. Битюкова В.Р. Экологический рейтинг городов России // Экология и промышленность России, 2015. Том. 19. №3. С. 34 – 39.
4. Битюкова В.Р. Пространственная структура ареалов загрязнения от ТЭЦ города Москвы // Экология и промышленность России, 2021. Том. 25. № 6. С. 54 – 60
5. Годовые отчеты Мосэнерго 2000—2019 гг. [Электронный ресурс] URL: <https://mosenergo.gazprom.ru/investors/reports/yearly-reports/> (дата обращения 08.02.2021)
6. Касимов Н.С., Битюкова В.Р., Малхазова С.М., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М., Шартова Н.В., Власов Д.В., Тимонин С.А., Крайнов В.Н. Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / под ред. Н.С. Касимова. М., 2014. 560 с.

SOURCES OF ANTHROPOGENIC IMPACT IN THE SETUN RIVER VALLEY (TERRITORY OF MOSCOW AND THE MOSCOW REGION): IDENTIFICATION AND ASSESSMENT OF THE TERRITORIAL STRUCTURE

Bitjukova V.R., Akynzhanov T.B.

Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia

The article proposes a method for determining and evaluating the exceptional sources of anthropogenic impact during large-scale studies of the geographical area on the territory of the Setun rivers in the south-west of Moscow. Analysis of possible approaches to assessing the state of landscapes, but to a lesser extent, is provided with statistical data. Therefore, a method of official statistics for municipal districts was proposed with the binding of point objects to polygon functional zones using ArcGIS and databases of spatial data "Setun.gdb". ArcGIS identified all objects of suspicious research in the basin of the river. Setun. One of the most important and stable industrial areas of Moscow is located in the basin during the period of rapid housing construction in the 60s-70s. with specialization in the construction industry and the tumor industry, in territorial features, there is a high level of localization of industrial damage mainly around the thermal power plant and, on the contrary, an increase in the speed and expansion in the placement of stationary non-industrial sources. Among non-industrial sources, objects related to car repair, car washes and tire fitting, gas stations, and coverage of major highways prevail. Of the 1466 objects, 346 are in residential security and SNT. Housing and communal services facilities that affect water sources have been identified: snow melting stations, treatment facilities, water treatment plants.

Funding. The work was carried out with the support of project 19-77-30004-P Integrated technology for environment assessment of Moscow megacity based on chemical analysis of microparticle composition in the "atmosphere - snow - road dust - soil - surface water" system (Megacity)

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТВЕРДЫМИ ЧАСТИЦАМИ МОСКОВСКОГО СТОЛИЧНОГО РЕГИОНА: ИСТОЧНИКИ И ФАКТОРЫ НА МУНИЦИПАЛЬНОМ УРОВНЕ

Проф., д.г.н. Битюкова В.Р., С.н.с., к.г.н. Мозгунов Н.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России

Московский столичный регион – крупнейшая городская агломерация страны, где ключевым фактором экологической ситуации является загрязнение атмосферы и одна из самых совершенных систем мониторинга, позволяющая отслеживать даже приоритетные для стран ОЭСР загрязнения твердыми частицами. Анализ территориального распределения эмиссии твердых частиц по муниципальным образованиям в сравнении с их специализацией показал, что структура источников существенно отличается от средней по стране: основным источником являются предприятия строительной индустрии, локализованные в юго-восточном секторе области. Сжигание топлива является важным источником, но в связи с модернизацией основной энергетики, главным источником становятся котельные и загрязнение перемещается в Новую Москву и на периферию Московской области. Влияние автотранспорта несколько снижено, поскольку структура автопарка и качества топлива здесь заметно лучше, чем в большинстве регионов страны и основным источником эмиссии твердых частиц являются истирание шин и тормозных колодок в результате растущего трафика и растущего дорожного строительства. Пожары влияют периодически. Недооценены статистически эмиссия от сжигания древесного топлива в дачном секторе и сектор утилизации и захоронения твердых коммунальных отходов.

Московский столичный регион (МСР), крупнейший по численности населения регион страны, где производится 25 % промышленной продукции и третья часть всей суммы ВРП России, характеризуется в целом высоким уровнем антропогенного воздействия. Это крупнейшая городская агломерация, включающая полностью два субъекта федерации (г. Москву и Московскую область), все в большей степени захватывающая соседние области. Ведущими факторами воздействия в нем является загрязнение атмосферы, водного бассейна и образования отходов. Уровень воздействия на атмосферу превышает среднероссийский в 2–4,5 раза [2]. Качество воздуха в МСР продолжает ухудшаться, в основном за счет влияния автотранспорта, несмотря на изменение методики учета в 2019 г. (что привело к трехкратному сокращению выбросов от автотранспорта), значительные объемы загрязняющих веществ выбрасывают стационарные источники: промышленность и отопительные системы коммунального хозяйства.

Одним из наиболее значимых загрязнителей в структуре выбросов различных источников являются мелкодисперсными частицами (PM) разного размера — 10 и 2,5 мкм. (PM₁₀ и PM_{2,5}). Эти частицы составляют обычно 40–70 % от общего числа взвешенных частиц. Особенно опасно сочетание высоких концентраций PM и диоксида серы [4]. Концентрации PM замеряются только в Москве, хотя в странах ОЭСР этот показатель является одним из базовых в оценке [11].

По данным ВОЗ, тонкодисперсные частицы оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье. PM_{2,5} может вдыхаться и вызывать как респираторные, так и сердечно-сосудистые заболевания. Современные эпидемиологические исследования показывают, что вдыхаемые твердые частицы влияют как непосредственно на респираторный тракт, так и на другие органы за счет токсического воздействия входящих в состав частиц различных компонентов. Люди с хроническими нарушениями в легких, сердечно-сосудистыми заболеваниями, астмой, частыми простудными заболеваниями, пожилые и дети особенно чувствительны к влиянию PM₁₀. В глобальном масштабе дополнительная смертность от них достигает более 300 тыс. случаев ежегодно [7]. Загрязнение атмосферного воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами представляет столь важную проблему, что ВОЗ в начале 2016 г. к Всемирной ассамблее здравоохранения опубликовала доклад о содержании этих веществ в атмосферном воздухе 3 тыс. городов различных стран мира.

Основные источники эмиссии твердых частиц. По оценкам Национального кадастра твердых частиц в США ежегодно в атмосферу поступает около 6 тыс. тонн PM_{2,5}, около 25 млн тонн PM₁₀. Источники поступления разных частиц отличаются. Так, для PM₁₀ в структуре источников на 1 месте (доля около 50%) находится дорожная пыль, на 2 месте – сельское хозяйство, доля которого составляет 26%, на 3-м – пожары (10%). Далее в порядке убывания значимый вклад вносят строительная пыль, сжигание топлива и производственные процессы, транспорт и утилизация отходов. Главным источником PM_{2,5} являются пожары, вклад которых приближается к 30%, несколько меньше вклад дорожной пыли (21%) и сельского хозяйства (17%). Заметный вклад вносит сжигание топлива (12%), затем в порядке убывания транспорт, промышленные процессы, утилизация отходов и строительная пыль [9].

Пожары - источник эмиссии микрочастиц во многих регионах страны, в том числе и в МСР [8]. Так, относительный прирост смертности в Москве на каждые 10 мкг/м³ PM₁₀ составляет 0,43 % при

температурах ниже 18 °С, увеличиваясь до 1,44 % при 30 °С [6]. Содержание РМ в атмосферном воздухе мегаполисов возрастает во время пожаров, в том числе и в окружающем лесном поясе, что приводило к повышенной смертности населения в Москве в 2010 г., Нью-Йорке и Бостоне [5].

Сжигание топлива. Наличие твердых частиц в выбросах зависит от вида и качества топлива: при использовании мазута доля твердых частиц минимальна и не превышает 0,5% [3]. Наиболее опасны выбросы от сжигания угля, поскольку более трети выбросов составляют твердые частицы золы, содержащие комплекс микроэлементов, в том числе токсичных. Доминирование угольного топлива в энергетике и коммунальном хозяйстве приводит к тому, что среди городов, у которых в структуре эмиссии много РМ преобладают центры тепловой энергетики и черной металлургии, расположенные в восточной части страны и на Европейском Севере.

Промышленность. Существует несколько статей, посвященных выбросам твердых частиц, например статья [10], где дается расчет концентрации тяжелых металлов в твердых частицах, выбрасываемых в Рюстенбурге в ЮАР, что обусловлено наличием в городе двух заводов по обогащению платины. За последние 30 лет в структуре выбросов от стационарных источников максимально сократилась доля твердых веществ (в 2 раза) и диоксида серы. Это результат как более дешевых способов улавливания именно данных компонентов выбросов, так и с политической конкретными экономических субъектов, наиболее ответственных за выброс данных веществ [2, 12].

Загрязнение твердыми частицами МСР. Особенность российской статистики заключается в том, что показатель «объем выбросов в атмосферу загрязняющих веществ» учитывает все загрязнители, поступающие в атмосферный воздух как после прохождения пылегазоочистных установок (в результате неполного улавливания и очистки) на организованных источниках загрязнения, так и без очистки от организованных и неорганизованных источников загрязнения. Учет выбросов ведется как по их агрегатному состоянию (твердые, газообразные и жидкие), так и по отдельным веществам (ингредиентам – твердые частицы, SO₂, NO₂, CO, C_xH_y, летучие органические соединения) [10].

В Москве больше, чем в целом в России, сократился объем выбросов от энергетики в связи с изменением структуры топливного баланса, в котором 96,7 % составляет газовое топливо, а также проведением реконструкции ТЭЦ. Поэтому количество твердых частиц минимально, небольшое количество свойственно муниципалитетам Новой Москвы, где сохранились котельные на мазуте. Вклад Новой Москвы в загрязнение атмосферы, расход топлива и выбросы от систем отопления в 2-2,5 раза выше, чем доля в численности населения. Это является следствием, как большей технической отсталости пригородных котельных, так и меньшей плотности населения, растянутости инфраструктуры и меньшей экологической эффективности. Устаревшие котельные являются основным источником выбросов твердых веществ вместе с предприятиями строительной индустрии (рисунок 1).

В Московской области в 2022 г. стационарными источниками было выброшено 136,5 тыс. т, из которых твердые частицы составляют всего 9%, что обусловлено структурой топливного баланса, специализацией промышленности и уровнем модернизации промышленности строительных материалов. Доля выбросов от сжигания топлива составляет 60%, наличие большого числа котельных обуславливает значительно больший вклад в выброс твердых частиц – 26%.

На муниципальном уровне, чем больше доля топливного фактора в загрязнении от стационарных источников, тем больше доля твердых частиц от сжигания топлива (рисунок 2).

В Московской области после 2018 г. территориальная структура выбросов твердых частиц довольно существенно изменилась, как из-за изменения муниципального устройства, так и в результате того, что на реконструкцию закрылась Каширская ГРЭС.

В последние годы она достаточно стабильна: ядро загрязнения твердыми частицами устойчиво находится на юго-востоке и второе ядро на севере. Наибольший объем выбросов твердых веществ характерен для Егорьевского ГО, что составляет больше 15% от всего объема Московской области. Структура выбросов округа очень разнообразна, потому что в основе специализации очень разные источники, но преобладает строительная индустрия: самое крупное предприятие завод асбестовых технических изделий и Егорьевский завод строительных материалов, который делает стеновые газобетонные блоки. Действуют предприятия с иностранным капиталом и довольно «чистые»: Kronospan (производство ламината и ДСП), Interprint (производство декоративной бумаги, ламинирующей плёнки), Saint Gobain (изоляционные материалы).

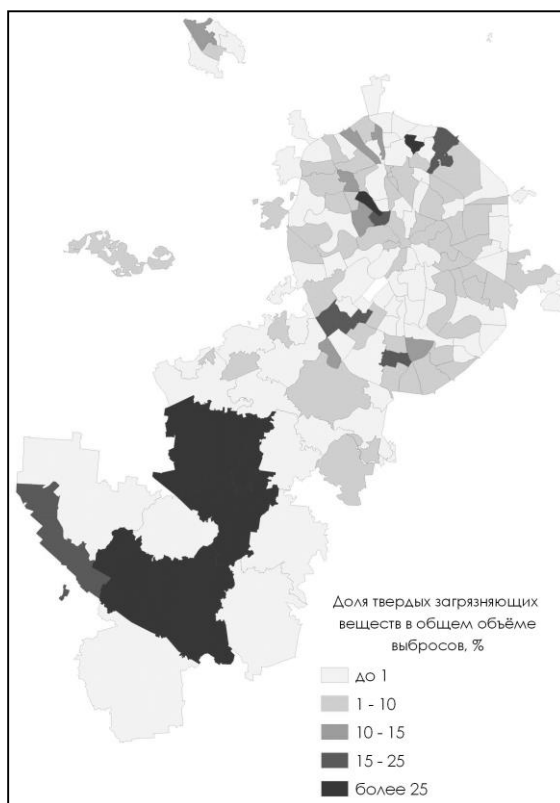


Рисунок 1. Доля твердых веществ в структуре выбросов от стационарных источников в муниципальных районах г. Москвы, 2022 г. (рассчитано по данным Росприроднадзора [1])

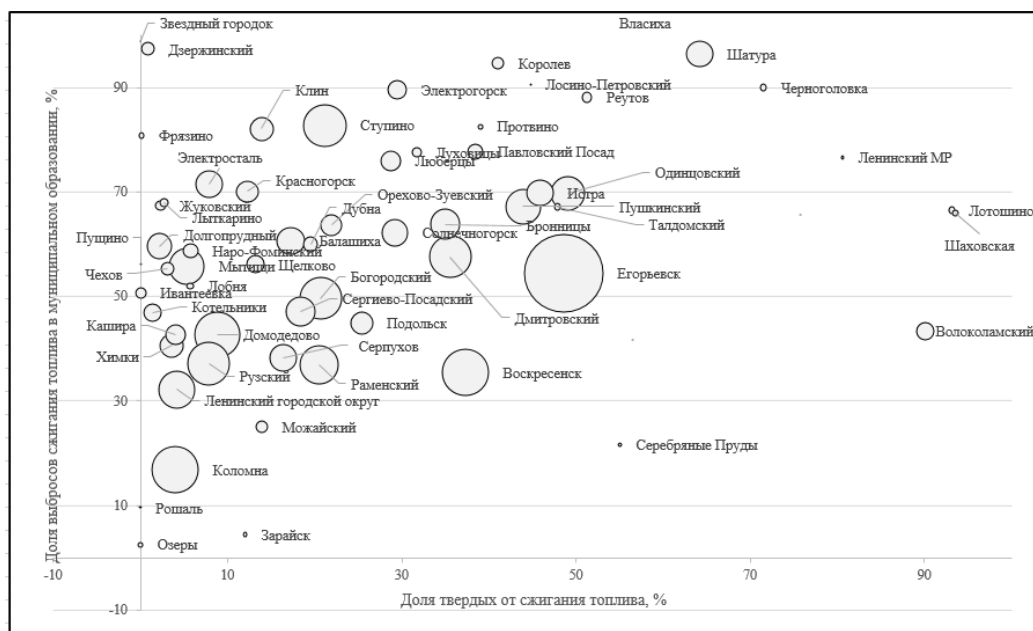


Рисунок 2. Распределения муниципальных районов Москвы и Московской области по доле сжигания топлива в объеме выбросов и доле твердых частиц от сжигания топлива (рассчитано по данным Росприроднадзора [1])

Следующая группа, вклад которой более 5% - городские округа Воскресенск (крупнейшее производство удобрений, добыча сырья, кирпичный завод, производство цемента и строительных смесей), Коломна (крупный центр машиностроения и пищевой промышленности, источниками пыли является Щуровский цементный завод, ныне принадлежащий компании HOLCIM) и Домодедово (ЖБИ), а также Рузский район, где расположен крупнейший в области Тучковский бетонный завод, Ступино с крупным заводом ЖБИ, а также ТЭЦ-17, у которой резервным топливом является мазут. В

Ленинском районе к 2022 г. увеличился выброс твердых частиц в результате работы коксогазового завода в г. Видное, который производит кокс, бензол, каменноугольную смолу (рисунок 3).

В северной части области лидирует Клинский район, в структуре выбросов преобладают углеводороды (50%) и 30% оксиды азота, 12% - CO, поскольку в основе специализации много крупных пищевых предприятий, химии, у которых скорее всего есть большие котельные. Из предприятий строительной промышленности преобладает относительно чистый сектор производства медицинского стекла всероссийского значения, у которых точно повышенный расход топлива: Био Люкс, Клинский ордена знак почета стекольный завод (Медстекло) Химлаборприбор, Медлабстекло, Термоприбор, а также кирпичный завод. Не входит в статистику полигон ТБО Алексинский карьер сильным запахом сероводорода.

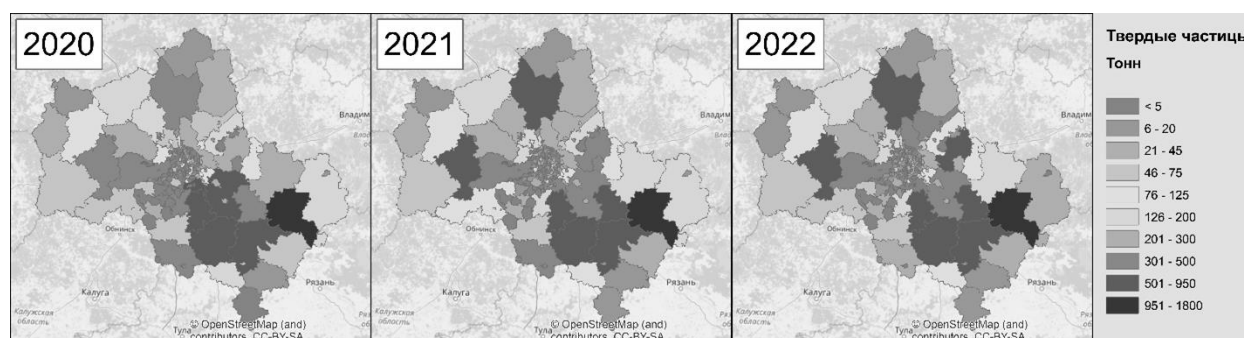


Рисунок 3. Эмиссия твердых частиц по муниципальным образованиям Москвы и Московской области, 2020-2022 гг. (рассчитано по данным Росприроднадзора [1])

Выводы. Постиндустриальный регион с крупногородским расселением и имеет свою специфику формирования экологической ситуации, где ключевым фактором является загрязнение атмосферы. Одновременно в регионе одна из самых совершенных систем мониторинга, позволяющая отслеживать даже приоритетные для стран ОЭСР загрязнение твердыми частицами. Структура источников существенно отличается от средней по стране:

- самый крупный источник эмиссии твердых частиц, пожары, действует в отдельные годы, однако, перспективное направление исследования в этой области заключается в необходимости оценить объемы сжигания древесного топлива на дачных участках и в коттеджных поселках;

- автотранспорт является ключевым источником загрязнения, но структура автопарка и качества топлива здесь заметно лучше, чем в большинстве регионов страны и основным источником эмиссии твердых частиц являются истирание шин и тормозных колодок в результате растущего трафика и растущего дорожного строительства;

- сжигание топлива является важным источником, но в связи с модернизацией основной энергетики, главным источником становятся котельные и загрязнение перемещается в Новую Москву и на периферию Московской области;

- основным источником, судя по территориальной структуре, являются предприятия строительной индустрии, которые являются сами источниками выбросов твердых частиц и как правило имеют котельные;

- недооценен в официальной статистике сектор утилизации и захоронения твердых коммунальных отходов, что очень актуально для МСР, а степень и специфика его влияния нуждается в дополнительном исследовании.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке НИР 19-77-30004-П Технология оценки экологического состояния Московского мегаполиса на основе анализа химического состава микрочастиц в системе «атмосфера–снег–дорожная пыль–почвы–поверхностные воды» (Мегаполис).

Литература

1. База данных Федеральной службы по надзору в сфере природопользования. URL: <http://rpn.gov.ru/opendata>
2. Битюкова В.Р. Экологическая ситуация в регионах России в 2016 г.: рейтинговый метод оценки // Экология и промышленность России. – 2017, Т. 21, № 12, С. 4–11.

3. Битюкова В.Р., Дехнич В.С., Петухова Н.В. Влияние ГРЭС на загрязнение воздуха городов России // Вестник Московского университета. Серия 5: География, 2021, № 4, с. 38-51
4. Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека // Региональные публикации ВОЗ: Европейская серия. — № 85. Копенгаген. — 2001. — 293 с.
5. Ревич Б.А. Мелкодисперсные взвешенные частицы в атмосферном воздухе и их воздействие на здоровье жителей мегаполисов // ПЭММЭ. — Т. XXIX. — № 3. — 2018. — С. 53–79.
6. Ревич Б.А., Шапошников Д.А., Авалиани С.Л., Рубинштейн К.Г., Емелина С.В., Ширяев М.В., Семутникова Е.Г., Захарова П.В., Кислова О.В. Опасность для здоровья населения Москвы высокой температуры и загрязнения атмосферного воздуха во время аномальных погодных явлений // Гигиена и санитария. — 2015. — № 1. — С. 36–40.
7. Johnston F.H et al. Estimated global mortality attributable to smoke from landscape fires / F.H. Johnston, S.B. Henderson, Y. Chen et al. // Environ. Health Perspect. – 2012. — Vol. 120. — P. 695–701.
8. Millennium Ecosystem Assessment (MA). 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. — Washington, Island Press. — 155 pp.
9. National Emissions Inventory, 2017 URL: <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/2017-national-emissions-inventory-nei-plan>
10. Nnenesi A. Kgabi, Jacobus J. Pienaar and Markku Kulmala, Trace metal composition of atmospheric aerosols in the Rustenburg municipality of the North West province, Proceedings of the International Congress of Chemistry and Environment (ICCE-2009) 2009, In: Research Journal of Chemistry and Environment
11. OECD 2008: OECD core set of indicators for environmental performance reviews. Environment Monographs. — № 83.
12. Srimuruganandam, B. and Shiva Nagendra. S.M., 2010. Analysis and interpretation of particulate matter-PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ emissions from the heterogeneous traffic near an urban roadway” International Journal of Atmospheric Pollution Research, 1(3) — С. 184-194.

SOLID PARTICLE POLLUTION OF THE MOSCOW METROPOLITAN REGION: SOURCES AND FACTORS AT THE MUNICIPAL LEVEL

V.R. Bityukova, N.A. Mozgunov

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social
Geography of Russia

The Moscow Metropolitan Region is the largest urban agglomeration of the country, where atmospheric pollution is a key factor in the environmental situation and one of the most advanced monitoring systems that allows tracking even priority particulate pollution for OECD countries. The analysis of the territorial distribution of particulate emissions by municipalities in comparison with their specialization showed that the structure of sources differs significantly from the national average: the main source is the enterprises of the construction industry localized in the south-eastern sector of the region. Fuel combustion is an important source, but due to the modernization of the main energy, boiler houses become the main source and pollution moves to New Moscow and to the periphery of the Moscow region. The influence of motor transport is somewhat reduced, since the structure of the fleet and the quality of fuel here is noticeably better than in most regions of the country and the main source of particulate emissions is the abrasion of tires and brake pads as a result of increasing traffic and increasing road construction. Fires affect periodically. Statistically underestimated emissions from the burning of wood fuel in the suburban sector and the sector of disposal and disposal of municipal solid waste.

Funding. The work was carried out with the support of project 19-77-30004-P Integrated technology for environment assessment of Moscow megacity based on chemical analysis of microparticle composition in the "atmosphere - snow - road dust - soil - surface water" system (Megacity)

ГЕОХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ИСТОРИЧЕСКИЕ ПАМЯТНИКИ МОСКВЫ

к.х.н. Болдырев К.А.¹, к.х.н. Ваховская З.С.², Соболев Д.А.¹, д.г.н., проф. Кошелева Н.Е.²

¹ Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН)

² Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова

Культурное наследие играет важную роль в современном обществе как память о прошлом и способ сохранить свою индивидуальность и идентичность в меняющемся мире. Произведения монументального искусства г. Москвы, которые широко представлены во всех округах столицы, испытывают на себе негативное влияние окружающей среды. Различные одиночные произведения и скульптурные композиции из таких материалов, как гранит, бронза, бетон составляют значительную долю в художественном наследии города и широко представлены в уличных экспозициях. Полезным инструментом для оценки и прогноза влияния атмосферных осадков на исторические памятники Москвы является геохимическое моделирование, которое позволяет оценить, какие химические реакции могут происходить между растворенными в атмосферных осадках веществами и материалами памятников и какие соединения будут образовываться в результате этих реакций. Степень воздействия оценивалась в рамках термодинамического подхода путем расчета индексов насыщения для основных минералов, входящих в состав бетона, гранита и гипса. Для моделирования использовался расчетный код PhreeqC, который показал растворение всех рассматриваемых потенциально образующих минеральных фаз материалов памятников: кальцит (CaCO_3), портландит (Ca(OH)_2), гидратированные силикаты кальция CSH и CH (CaH_2SiO_4), эттрингит Aft ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$), гидрогарнет ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), гидрогарнет C3AH6 ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$), дженнит ($\text{Ca}_{1.67}\text{SiO}_2(\text{OH})_{3.33} \cdot 0.43\text{H}_2\text{O}$), гидроталькит ($\text{Mg}_4\text{Al}_2(\text{OH})_{14} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), альбит ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), анортит ($\text{CaAl}_2(\text{SiO}_4)_2$), мусковит ($\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$).

Введение. Различные одиночные произведения и скульптурные композиции из таких материалов, как гранит, бронза, бетон составляют значительную долю в художественном наследии Москвы и широко представлены в уличных экспозициях. По состоянию на 2016 г. в каталог памятников монументального искусства внесено 877 объектов, только в Центральном административном округе они представлены 114 бронзовыми скульптурами на гранитном постаменте, 29 полностью гранитными, 5 мраморными [1]. Сохранение этих памятников для последующих поколений, максимально замедлив процессы естественного старения и оградив от негативных факторов, предотвращая их разрушение, представляет собой важнейшую задачу (рис. 1). К сожалению, для ряда объектов музейное хранение не всегда возможно, как и варианты навесов, способных оградить их от негативных воздействий, но изменяющих впечатление от памятника.



Рисунок 1. Повреждение бетонной статуи (возраст более 70 лет), расположенной на крыше здания по адресу: Ленинском пр-т, д. 37, Москва (источник: <https://beton-house.com/novosti/restavraciya-betonnyh-figur>)

Влияние окружающей среды относится к внешним факторам разрушения, среди них атмосферные осадки является главным агентом как минимум в Европе [2]. Воздействие атмосферных осадков обусловлено растворением входящих в состав памятника минералов, которое зависит от химического состава воды, температуры и площади контакта. Этот процесс приводит к повреждениям поверхности исторических зданий и памятников, повышает риск проникновения воды и содержащихся в ней растворенных веществ по порам и трещинам внутрь, усиливая разрушение. За год в Московском регионе выпадает 600—700 мм атмосферных осадков, в их катионном составе всегда преобладает ион кальция, концентрации катионов убывают в следующем порядке: $\text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{H}^+ > \text{K}^+$ [3].

Материалы, содержащие большое количество карбонатов кальция (кальцита и арагонита), такие как мрамор, известняк, песчаник, строительные растворы, подвержены сульфатизации, конечным продуктом которой является гипс, гораздо лучше растворимый в воде, чем кальцит (2,4 г/л против $1,4 \times 10^{-2}$ г/л), что приводит к вымыванию водой образовавшегося гипса в местах контакта с

атмосферными осадками и утрате рельефа поверхности [4]. Поэтому важно понимать, какие механизмы и факторы воздействуют на исторические объекты, и уметь количественно оценивать темпы их разрушения (табл. 1).

Таблица 1. Материалы памятников и факторы окружающей среды, вызывающие их разрушение [5]

Материал	Повреждения	Факторы окружающей среды, ускоряющие разрушение
Металл	Коррозия/потускнение	Вода, кислород, соли
Камень	Поверхностная эрозия, обесцвечивание	Температура воды, колебания, соль, вибрация, микроорганизмы, углерод
Краска	Поверхностная эрозия (шелушение), обесцвечивание	Вода, солнечный свет, микроорганизмы
Керамика	Повреждение поверхности	Влага

Полезным инструментом для оценки и прогноза влияния атмосферных осадков на исторические памятники Москвы являются методы геохимического моделирования, которые позволяют оценить, какие возможные химические реакции могут происходить между растворенными в атмосферных осадках веществами и материалами памятников и какие соединения будут образовываться в результате этих реакций. Для исторических памятников методы моделирования могут быть использованы для прогнозирования возможных изменений в сохранности в долгосрочной перспективе [6], а также оценки ухудшений при изменениях окружающей среды (температуры, влажности), уменьшении или увеличении концентраций агрессивных компонентов в атмосферных осадках и т.д. Эти знания являются научной основой для разработки наилучшей стратегии защиты исторических памятников и сохранения их для будущих поколений в максимально аутентичном виде. Целью данной работы является оценка изменений исторических памятников Москвы от воздействия атмосферных осадков с помощью геохимического моделирования, которое позволяет количественно определить изменения, происходящие в материалах, под воздействием внешних факторов.

Материалы и методы. Мониторинг атмосферных осадков включал отбор суточных эпизодов осадков с 16.03.2022 по 15.09.2022 г. на территории Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова, расположенной рядом с Ботаническим садом МГУ, вдали от источников промышленного загрязнения и крупных автомагистралей. Атмосферные осадки (62 случая) собирались в пластиковую ПВХ воронку 80×80 см со стоком в пластиковые белые ведра на высоте 1 м над уровнем земли. В теплое время года пробу анализировали сразу, в холодный период оставляли для таяния при комнатной температуре на 24 ч. Величина pH измерялась с помощью pH-метра ЭКСПЕРТ-001-3pH (Россия). Концентрацию карбонатов в пробах осадков определяли титриметрическим методом. Удельную электропроводность (ЕС) измеряли с помощью кондуктометра ЭКСПЕРТ-002-2-6-П с интерфейсом RS232C (Россия).

Для геохимического моделирования использовался расчетный код (PK) PHREEQ [7,8]. Данный PK позволяет рассчитывать химические изменения в системе газ/вода/твердые фазы и твердые растворы, учитывать различные механизмы сорбции (ионный обмен и поверхностное комплексообразование), проводить учет кинетики протекающих процессов, он также обладает возможностью расчета переноса. Фактически PK PhreeqC во многом воспроизводит реальный природный процесс. Для моделирования воздействия атмосферных осадков были рассмотрены потенциально образующие твердые фазы материалов бетона, гранита и мрамора. Эти материалы можно представить, как закристаллизованные сплошные материалы (гранит, мрамор), либо пористой материал, обладающий сложной структурой (бетон). Моделирование влияния атмосферных осадков на минеральный состав этих материалов основано на термодинамическом подходе. Степень воздействия оценивалась с помощью геохимического моделирования, в рамках которого рассчитывались индексы насыщения для каждой из минеральных фаз, составляющих выбранные материалы, для оценки возможности их растворения. В качестве потенциально образующих фаз, т.е. тех, которые могут составлять зерна в бетоне, граните и мраморе и могут растворяться, в расчете использовались: кальцит (CaCO_3), портландит (Ca(OH)_2), гидратированные силикаты кальция CSH и CH (CaH_2SiO_4), эттрингит ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$), гидрогарнет ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), гидрогарнет C3AH6 ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$), дженнит ($\text{Ca}_{1.67}\text{SiO}_2(\text{OH})_{3.33} \cdot 0.43\text{H}_2\text{O}$), гидроталькит ($\text{Mg}_4\text{Al}_2(\text{OH})_{14} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), альбит ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), анортит ($\text{CaAl}_2(\text{SiO}_4)_2$), мусковит ($\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$).

Результаты и их обсуждение. Выбор интервала 16.03.2022-15.09.2022 определялся изменчивостью характеристик осадков в Московском регионе, которые имеют выраженный сезонный ход [9]. Интервал включает период смешанных осадков и сезон кислотных дождей, во время которых отобрано 62 пробы осадков. Количество и интенсивность осадков значительно варьировали (рис. 2), большинство эпизодов (67,7 % от общего количества) характеризовалось небольшими дождями со слоем менее 5 мм/сут. Три эпизода: 27.05 с 33,8 мм/сут.; 10.07 с 23,4 мм/сут. и 02.04. с 17,2 мм/сут. – составляют 26 % от общего количества осадков за анализируемый период; эпизоды с осадками менее 0,5 мм, как правило, не анализировались из-за недостаточного объема пробы.

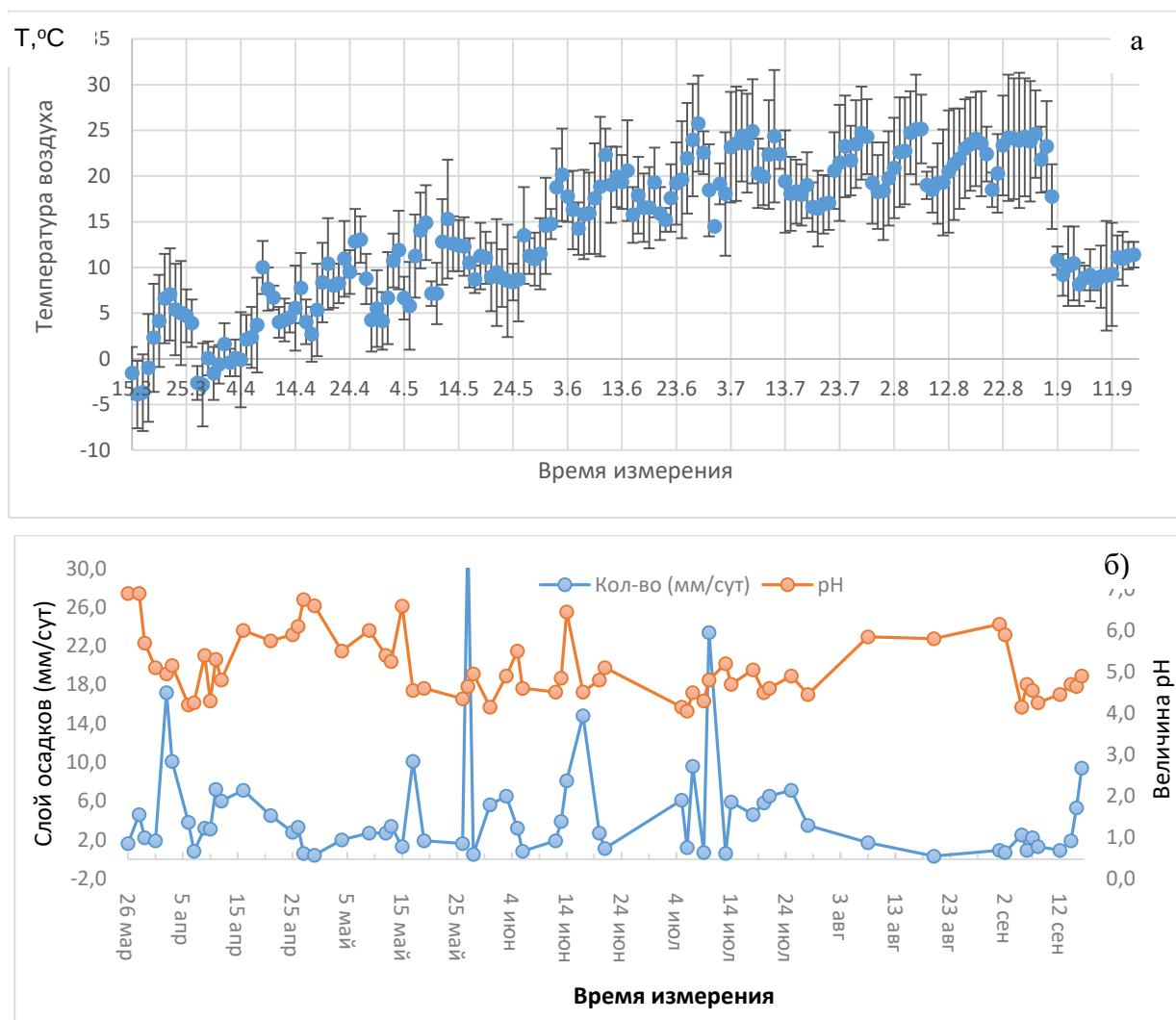


Рисунок 2. Среднесуточная амплитуда (минимальное и максимальное значение) и среднее значение (синим) температуры воздуха за исследуемый период 16.03. –15.09.2022 (а); слой осадков и величина pH (ось справа) за исследуемый период 16.03–15.09.2022 (б).

Доля кислотных дождей (с $\text{pH} < 5,0$) за исследуемый период 2022г. составила в апреле 36%, мае 42%, июне 67%, июле 83%. Максимальная величина $\text{pH}=6,90\pm 0,03$ наблюдалась в смешанных осадках 26.03.2022, минимальное значение $\text{pH}=4,10\pm 0,03$ – во время дождя 06.07.2022. Максимальная за период ЕС (1247 мкСм/см) зафиксирована для второго дождя августа, когда сложилась нетипичная ситуация: за месяц выпало всего 2 мм осадков, которые дали два эпизода: 8.08. (1.7 мм) и 20.08. (0,3 мм). В других образцах ЕС варьировала в апреле от 19 до 158 мкСм/см, мае от 22 до 111 мкСм/см, июне от 20 до 124 мкСм/см, июле от 21 до 239 мкСм/см.

Были рассчитаны индексы насыщения для основных минералов, входящих в состав бетона, гранита и гипса. Результаты геохимического моделирования РК PhreeqC (рис. 3) показывают растворение всех рассматриваемых фаз при наблюдаемых метеоусловиях и характеристиках атмосферных осадков за полугодовой период 16.03. –15.09.2022.

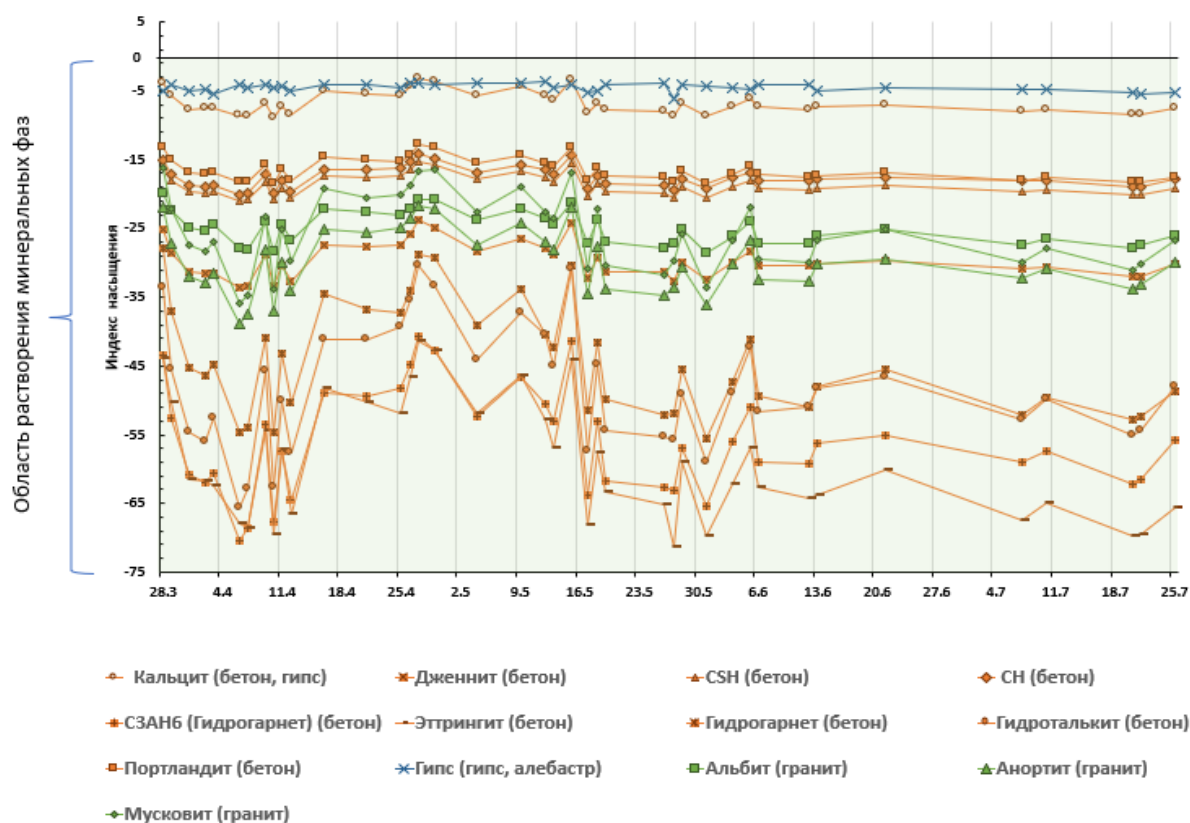


Рисунок 3. Индексы насыщения для основных минералов бетона, гранита, мрамора за исследуемый период 16.03–15.09.2022

Большая изменчивость слоя и состава осадков за полугодовой период мониторинга способна вызвать негативные изменения в материалах исторических памятников, что наглядно показывают полученные графики индексов насыщения для основных минералов бетона, гранита и мрамора. Из рисунка 3 видно, что со временем растворению (значения индекса насыщения $SI < 0$) подвергнутся все рассматриваемые минеральные фазы. Однако стоит заметить, что наиболее подвержены растворению фазы бетона – этtringит, гидрогарнет и гидроталькит, что указывает на то, что бетон является наименее устойчивым из рассматриваемых материалов. Таким образом, если не предпринимать мер по защите объектов культурного наследия в условиях открытого экспонирования, произойдет утрата этих исторических объектов. При этом самыми уязвимыми будут памятники из бетона.

Полученные результаты показали, что методы геохимического моделирования могут стать важным инструментом для оценки влияния атмосферных осадков на исторические памятники Москвы, помочь разработке мер по их научно обоснованному сохранению. Дальнейшее развитие этих методов предполагает не только накопление массива данных наблюдений в разных округах Москвы, но и усовершенствование использованной модели, например, для учета влияния биодеструкторов (птиц, микроводорослей, лишайников, микроскопических грибов), продукты жизнедеятельности которых пагубно влияют на материалы памятников и могут переноситься с атмосферными осадками внутрь памятника, усиливая разрушения. Также следует учитывать геометрию памятников, размер зерен карбонатных материалов и т.д.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 19-77-30004-П.

Литература

1. Памятники монументального искусства Москвы. Справ. издание. Департамент культурного наследия г. Москвы. Москва: ООО «Милк Эдженси», 2016.
2. Sesana E., Gagnon A.S., Ciantelli C., Cassar J., Hughes J.J. Climate change impacts on cultural heritage: A literature review // Wiley interdisciplinary reviews: Climate Change, v. 12(4), 2021, 29 p. <https://doi.org/10.1002/wcc.710>
3. Еремина И.Д. Химический состав атмосферных осадков в Москве и тенденции его многолетних изменений // Вестник Моск. ун-та. Серия 5. География, 2019, т. 3, с. 3-10.

4. Van Grieken R., Delalieux F., Gysels K. Cultural heritage and the environment // Pure and Applied Chemistry, 1998, v. 70 (12), p. 2327-2331, <https://doi.org/10.1351/pac199870122327>.
5. Abulude F.O., Ogunmola D.N., Alabi M.M., Abdulrasheed Y. Atmospheric deposition: Effects on sculptures // Chemistry International, 2018. v. 4, № 2, p. 136-145. https://www.researchgate.net/profile/Francis-Abulude/publication/324731128_Atmospheric_deposition_Effects_on_sculptures/links/5adf785b0f7e9b285945d6fc/Atmospheric-deposition-Effects-on-sculptures.pdf
6. Brimblecombe P., Grossi C.M. Millennium-long damage to building materials in London // Science of total environment. 2009, 407, pp. 1354–1361.
7. Parkhurst D.L., Appelo C.A.J. User's guide to PHREEQC (Version 2): A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations Water-Resources Investigations Report 99-4259. 1999. U.S. Geological Survey. 312p. <https://doi.org/10.3133/wri994259>
8. Description of Input and Examples for PHREEQC Version 3 - A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations. – Reston, VA: Survey U. S. G., 2013. – 497 с. – 0092-332X
9. Еремина И.Д., Алоян А.Е., Арутюнян В.О. и др. Гидрокарбонаты в атмосферных осадках в Москве: данные мониторинга и их анализ // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2017. т. 53, № 3, с. 379–388.

GEOCHEMICAL MODELING OF THE IMPACT OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION ON MOSCOW HISTORICAL MONUMENTS

Boldyrev K.A.¹, Vakhovskaya Z.S.², Sobolev D.A.¹, Kosheleva N.E.²

¹ Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

² Lomonosov Moscow State University

Cultural heritage plays an important role in modern society as a memory of the past and a way to preserve one's individuality and identity in a changing world. Works of monumental art in Moscow, which are widespread in all districts of the capital, are exposed to environmental damage. Various single works and sculptural compositions made of materials such as granite, bronze, concrete share significantly in the artistic heritage of the city and are widely represented in outdoor exhibitions. A useful tool for evaluating and predicting the impact of precipitation on the historical monuments of Moscow is geochemical modeling, which allows one to estimate what possible chemical reactions will occur between substances dissolved in precipitation and monument materials and what compounds will be formed as a result of these reactions. The degree of impact was assessed within the framework of the thermodynamic approach by calculating the saturation indices for the main minerals that make up concrete, granite and gypsum. The PhreeqC calculation code was used for geochemical modeling, which showed the dissolution of all considered potentially formed mineral phases: calcite (CaCO_3), portlandite (Ca(OH)_2), hydrated calcium silicate CSH and CH (CaH_2SiO_4), ettringite Aft ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$), hydrogarnet ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), hydrogarnet C3AH6 ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$), jennite ($\text{Ca}_{1.67}\text{SiO}_2(\text{OH})_{3.33} \cdot 0.43\text{H}_2\text{O}$), hydrotalcite ($\text{Mg}_4\text{Al}_2(\text{OH})_{14} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), anorthite ($\text{CaAl}_2(\text{SiO}_4)_2$), muscovite ($\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$).

МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ФРАКЦИЙ ПОЧВ И ПЫЛИ МЕТОДОМ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ

к.г.н. Безбердая Л.А., к.г.н. Енчилик П.Р., д.г.н. Кошелева Н.Е., Васильчук Дж.Ю.,
к.г.н. Семенов И.Н., к.г.н. Власов Д.В., академик РАН Касимов Н.С.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

При проведении эколого-геохимических исследований особое внимание уделяется микрочастицам в компонентах ландшафтов, поскольку они обогащены многими канцерогенными и токсичными поллютантами и представляют особую опасность для респираторной системы человека. Однако в мире не существует общепризнанной методики выделения гранулометрических фракций, которая позволяла бы сравнивать и интерпретировать данные, полученные в разных лабораториях. В связи с этим в работе рассмотрены различные методы выделения микрочастиц. Авторами разработана методика выделения гранулометрических фракций PM_{10} и $\text{PM}_{2.5}$ с применением комплексной предварительной подготовки образцов и последующим их центрифугированием. Предложена схема выделения фракций PM_{10} и $\text{PM}_{2.5}$ методом центрифугирования. Время и скорость центрифугирования рассчитывались с учетом плотности выделяемых частиц, плотности и вязкости среды, времени разгона и торможения центрифуги, а также расстояний от оси центрифуги до поверхности суспензии и от оси центрифуги до поверхности осадка на дне емкости. Для выделения частиц PM_{10} рекомендуется 1100 оборотов в минуту и время центрифугирования 8 минут, для частиц $\text{PM}_{2.5}$ – 200 оборотов в минуту и 4 минуты. Показано, что центрифугирование – наиболее быстрый и перспективный метод выделения микрочастиц, который используется при эколого-геохимических оценках загрязнения почв, пыли, речной взвеси, донных отложений, снега.

Введение. В эколого-геохимических исследованиях усиливается интерес к изучению микрочастиц в различных компонентах ландшафтов. Так, качество воздушной среды в городах обычно оценивается по концентрациям в воздухе частиц PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} (PM – аббревиатура “particulate matter”, цифра показывает максимальный диаметр частиц в микрометрах), которые могут находиться в воздухе продолжительное время и переноситься на дальние расстояния [1], создавая серьезную опасность для здоровья населения [2]. Микрочастицы, содержащиеся в выбросах из техногенных источников, выступают главным первичным источником загрязнения городских территорий, накапливаясь во всех депонирующих средах при выпадении из атмосферы, в том числе, в почвах и дорожной пыли. С другой стороны, при выдувании с поверхности почв и дорожного покрытия они являются важным фактором вторичного загрязнения атмосферы. В некоторых странах до 50% атмосферных частиц PM_{10} поступает в результате движения автотранспорта [3-5]. Ветровая эрозия и выдувание частиц почв в Калифорнии обуславливают около 63% частиц PM_{10} в воздухе [6]. В Милане городские почвы также являются основным источником повышенного содержания частиц PM_{10} в атмосфере [7]. Изучение микрочастиц в различных компонентах ландшафтов важно с экологической точки зрения, поскольку они обогащены многими поллютантами, в том числе канцерогенными и токсичными, которые представляют особую опасность для респираторной системы человека.

Почва как многофазная, гетерогенная и полидисперсная система состоит из частиц разного размера, которые объединяются в микроагрегаты [8]. В результате их взаимодействия и перемещения происходят различные физические, физико-химические, химические и биохимические процессы, которые приводят к распределению элементов внутри микроагрегатов и между гранулометрическими фракциями. Дорожная пыль представляет собой совокупность твердых частиц различного диаметра, накапливающихся на поверхности дорожного полотна в результате эмиссии выхлопных газов, истирания шин и тормозных колодок автотранспорта, разрушения дорожного покрытия, а также осаждения промышленных выбросов, эрозии и дефляции почв [9; 10]. Изучение микрочастиц в природных и антропогенных почвах и дорожной пыли способствует лучшему пониманию механизмов накопления и распределения потенциально токсичных веществ по фракциям.

В настоящее время не существует общепризнанной методики выделения гранулометрических фракций, которая позволяла бы сравнивать и интерпретировать данные, полученные в разных лабораториях. Поэтому большинство исследований посвящены изучению элементного состава общей массы почвы и дорожной пыли без анализа и выделения тонких частиц, особенно экологически опасных фракций PM_1 и PM_{10} . Чаще изучаются крупные и менее миграционно способные частицы диаметром 40 мкм и более [11; 12], что в основном связано со сложностью и трудоемкостью выделения более тонких частиц [13]. В этой связи *цель работы* – разработать методику выделения микрочастиц PM_1 и PM_{10} из почв и дорожной пыли для дальнейшей оценки их загрязнения потенциально токсичными элементами (ПТЭ).

Методы выделения гранулометрических фракций. Одним из наиболее распространенных методов гранулометрического фракционирования является сухое и влажное ситование, то есть просеивание навески через набор сит с разным диаметром ячеек. Однако ситовой метод дает возможность выделять в основном крупные частицы диаметром 50 и более мкм. Тонкие фракции (менее 1, 2 и 10 мкм) обычно разделяются методами воздушной классификации, отмучивания и центрифугирования.

Метод отмучивания основан на законе Стокса, согласно которому скорость оседания сферических частиц под влиянием гравитации в жидкости данной плотности и вязкости пропорциональна радиусу частиц [14]. Метод отмучивания очень трудоемок и времязатратен, что не позволяет рассматривать его в качестве высокоэффективного способа получения вещества тонкой размерности. Центрифужный метод считается одним из наиболее быстрых и надежных методов разделения частиц, его применение сокращает время фракционирования в 10-20 раз по сравнению с отмучиванием [15].

Фракционирование образцов методом центрифугирования. Пробоподготовка. Исходные образцы почв или пыли высушиваются при 30°C, отбираются корни, камни, иные включения и артефакты. Перед выделением гранулометрических фракций из образцов необходимо проводить их диспергацию или дезагрегацию для разрушения микроагрегатов до первичных составляющих с помощью химических (воздействие на пробу веществами-диспергаторами, например, реактивом Тамма, пиродифосфатом натрия, перекисью водорода), механических (истирание резиновым пестиком) или физических (ультразвуковое диспергирование) приемов. Использование химических методов обработки влияет на элементный состав выделенной твердой фазы. Механическое истирание проб приводит к меньшему выходу более тонких частиц, однако практически не меняет их химический

состав. Ультразвуковое озвучивание позволяет регулировать уровень разрушения микроагрегатов путем контроля времени обработки суспензии. Однако некорректно подобранные параметры озвучивания могут привести к чрезмерной или, наоборот, неполной диспергации агрегатов, в результате чего будет меняться доля более мелких частиц в пробе и, соответственно, оценка фракционного состава.

В разработанной нами методике перед выделением фракции РМ₁ необходимо проводить влажное истирание образца резиновым пестиком и ультразвуковое диспергирование. От каждого образца берется навеска около 10-20 граммов, к которой добавляется около 100 мл дистиллированной воды и растирается резиновым пестиком 2-3 минуты до однородного состояния и исчезновения комков. При необходимости мелкие растительные остатки с поверхности суспензии убираются стеклянной палочкой или кистью. В емкость с пробой помещается конец ультразвукового излучателя на 2-3 см ниже уровня жидкости в стакане и проба озвучивается в течение 2 минут. Полученная смесь во влажном состоянии просеивается через сито с размером ячеек 50 мкм для удаления более крупных частиц.

Выделение микрочастиц с помощью центрифугирования. Суспензия, содержащая частицы менее 50 мкм, помещается в стаканы для центрифугирования объемом 500 мл, на которые предварительно наносится метка на уровне 8 см от внешней нижней границы. Перед центрифугированием объем жидкости всегда необходимо доводить до этой метки. Соотношение твердая фаза : вода составляет 1:15.

Перед запуском центрифуги пробы уравниваются попарно. В данном исследовании используется центрифуга «ОМС-6» с горизонтальным типом ротора. Емкости с пробами в ней устанавливаются вертикально в специальные обоймы. При вращении под воздействием центробежной силы они переходят в горизонтальное положение, угол наклона центрифужных стаканов к оси вращения составляет 90°. Скорость и время, необходимые для выделения частиц РМ₁ и РМ₁₀, получены расчетным путем в программе Centriset с учетом параметров, указанных в таблице 1.

Таблица 1

Параметры центрифугирования для выделения частиц РМ₁ и РМ₁₀

Параметры	Значения для выделения РМ ₁	Значения для выделения РМ ₁₀
Радиус частиц, см	0,00005	0,0005
Плотность суспензии, г/см ³	0,997	0,997
Вязкость суспензии	0,00894	0,00894
Плотность частиц, г/см ³	2,65	2,65
Время разгона центрифуги, сек	70	70
Время торможения центрифуги, сек	120	120
Расстояние от оси центрифуги до поверхности суспензии, см	12	12
Расстояние от оси центрифуги до поверхности осадка на дне емкости, см	20,5	20,5

Скорость и время выделения частиц разного размера зависит от плотности самих частиц (г/см³), плотности среды (г/см³) и вязкости среды, в которой они находятся. В качестве параметра плотности выделяемых частиц используется значение для кварца (2,65 г/см³). Значения плотности и вязкости среды (суспензии) устанавливаются в зависимости от температуры жидкости (°C). Кроме этого, важными параметрами выделения микрочастиц являются расстояния от оси центрифуги до поверхности суспензии (R1) и от оси центрифуги до поверхности осадка на дне емкости (R2). Схема измерения этих расстояний показана на рисунке 1. В нашей методике расстояние R2 = 20,5 см, а R1 = 12 см.

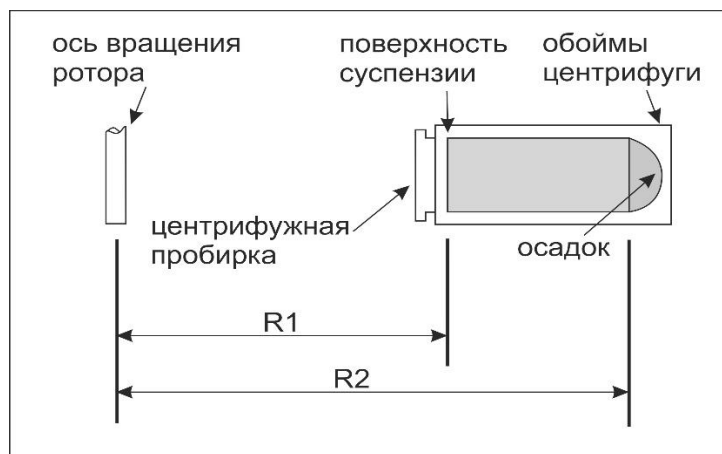


Рисунок. 1. Схема измерения расстояния от оси центрифуги до поверхности осадка (R2) и поверхности суспензии (R1)

Полная методика выделения фракции PM_{10} методом центрифугирования представлена на рисунке 2. Так, количество оборотов и время центрифугирования составляет 1100 об/мин и 8 минут – для выделения частиц PM_{10} и 200 об/мин и 4 минуты – частиц PM_{10} .

После завершения центрифугирования супернатант, то есть суспензия с фракцией частиц PM_{10} сливается в сосуд объёмом 5 л. Затем снова доливается до метки дистиллированная вода, уравнивая массы емкостей с суспензией, и проводится центрифугирование при заданных параметрах. Операция повторяется до полного просветления супернатанта в стакане.

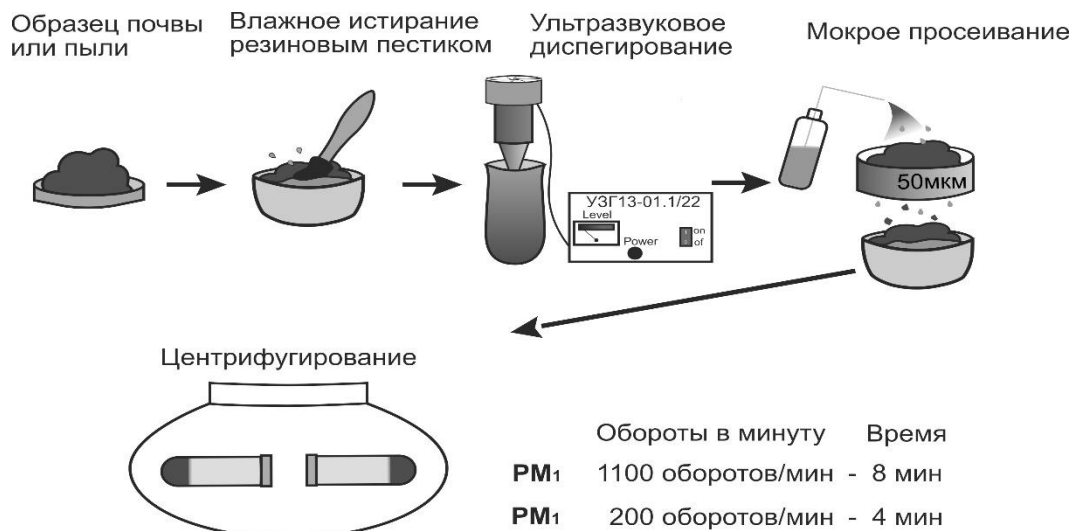


Рисунок 2. Схема выделения фракции PM_{10} и PM_{10} методом центрифугирования

Таким образом, центрифугирование является наиболее быстрым и перспективным методом выделения тонких гранулометрических фракций, который можно использовать при эколого-геохимических оценках загрязнения окружающей среды. Разработанная методика может применяться не только для почв и дорожной пыли, но и для других компонентов ландшафтов – речной взвеси, донных отложений, снега.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 19-77-30004-П.

Литература

1. Seinfeld J., Pandis S. Atmospheric chemistry and physics. John Wiley & Sons Inc., 2006. 1248 p.
2. Tager I.B. Health effects of aerosols: Mechanisms and epidemiology // Aerosols Handbook: Measurement, dosimetry, and health effects / Ed. by L.S. Ruzer, N.H. Harley. Boca Raton: CRC Press, 2005. P. 619-696.
3. Amato F., Pandolfi M., Viana M., Querol X., Alastuey A., Moreno T. Spatial and chemical patterns

- of PM₁₀ in road dust deposited in urban environment // *Atmospheric Environment*. 2009. Vol. 43. P. 1650-1659. doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.12.009
4. National Emissions Inventory 2014. United States Environmental Protection Agency, 2014. URL: <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/2014-national-emissions-inventory-nei-data> (дата обращения: 15.06.2023).
 5. Ramírez O., Sanchez de la Campa A.M., Amato F., Moreno T., Silva L.F., de la Rosa J.D. Physicochemical characterization and sources of the thoracic fraction of road dust in a Latin American megacity // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 652. P. 434-446.
 6. Chow, J. C., Watson, J. G., Lowenthal, D. H., Solomon, P. A., Magliano, K. L., Ziman, S. D., Richards, L. W. PM₁₀ source apportionment in California's San Joaquin Valley // *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*. 1992. Vol. 26(18). P. 3335-3354.
 7. Marcazzan G.M., Ceriani M., Valli G., Vecchi R. Source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} in Milan (Italy) using receptor modelling // *Science of the Total Environment*. 2003. Vol. 317. P. 137-147.
 8. Юдина А.В., Фомин Д.С., Котельникова А.Д., Милановский Е.Ю. От понятия элементарной почвенной частицы к гранулометрическому и микроагрегатному анализу (обзор) // *Почвоведение*. 2018. №11. С. 1340-1362.
 9. Acosta J.A., Faz C.A., Arocena J.M., Debela F., Martinez-Martinez S. Distribution of metals in soil particle size fraction and its implication to risk assessment of playgrounds in Murcia City (Spain) // *Geoderma*. 2009. Vol. 149. P. 101-109. doi: 10.1016/j.geoderma.2008.11.034
 10. Pant P., Baker S.J., Shukla A., Maikawa C., Godri Pollitt K.J., Harrison R.M. The PM₁₀ fraction of road dust in the UK and India: Characterization, source profiles and oxidative potential // *Science of the Total Environment*. 2015. Vol. 530-531. P. 445-452.
 11. Shi D., Lu X. Accumulation degree and source apportionment of trace metals in smaller than 63 µm road dust from the areas with different land uses: A case study of Xi'an, China // *Science of The Total Environment*. 2018. Vol. 636. P. 1211-1218. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.04.385
 12. Valotto G., Zannoni D., Guerriero P., Rampazzo G., Visin F. Characterization of road dust and resuspended particles close to a busy road of Venice mainland (Italy) // *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2019. P. 1-14.
 13. Lanzerstorfer C. Heavy metals in the finest size fractions of road-deposited sediments // *Environmental Pollution*. 2018. Vol. 239. P. 522-531. doi:10.1016/j.envpol.2018.04.063
 14. Ljung, K.; Torin, A.; Smirk, M.; Maley, F.; Cook, A.; Weinstein, P. Extracting Dust from Soil: A Simple Solution to a Tricky Task // *Science of The Total Environment*. 2008. Vol. 407. P. 589-593. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.09.007
 15. Шаймухаметов М.Ш., Воронина К.А. Методика фракционирования органо-глинных комплексов почв с помощью лабораторных центрифуг // *Почвоведение*. 1972. №8. С. 134-138.

METHOD OF SEPARATION OF GRANULOMETRIC FRACTIONS OF SOILS AND DUST BY CENTRIFUGATION

Bezberdaya L.A., Enchilik P.R., Kosheleva N.E., Vasilchuk J.Yu., Semenov I.N., Vlasov D.V., Kasimov N.S.

Lomonosov Moscow State University

Currently, when conducting ecological and geochemical studies, special attention is paid to microparticles in components of landscapes, since they are enriched with many carcinogenic and toxic pollutants and pose a particular danger to the human respiratory system. However, there is no universally recognized method of separating granulometric fractions in the world that would allow comparing and interpreting data obtained in different laboratories. In this regard, various methods of isolation of microparticles are considered in the work. The authors have developed a method for the separation of granulometric fractions PM₁ and PM₁₀ with the use of complex preliminary preparation of samples and their subsequent centrifugation. A scheme for the separation of the PM₁ and PM₁₀ fractions by centrifugation has been proposed. The time and speed of centrifugation were calculated taking into account the density of the released particles, the density and viscosity of the medium, the acceleration and deceleration time of the centrifuge, as well as the distances from the axis of the centrifuge to the surface of the suspension and sediment at the bottom of the tank. For the separation of PM₁ particles, 1100 revolutions per minute and a centrifugation time of 8 minutes are recommended; for PM₁₀ particles, 200 revolutions per minute and 4 minutes. It is shown that centrifugation is the fastest and most promising method for the separation of microparticles, which is used in ecological and geochemical assessments of pollution of soils, dust, river suspension, sediments and snow.

ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ТАГАНРОГА

к.г.н. Безбердая Л.А., Хозяйнова Д.А., Хребтенко А.С., Крылова А.А., д.б.н. Кречетов П.П.
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Геохимическая съемка снежного покрова проводилась в январе 2022 года на территории г. Таганрога и Таганрогского района. Определены физико-химические характеристики (рН, минерализация) талой снеговой воды и содержание потенциально токсичных элементов в снеговой взвеси. Главными источниками загрязнения города является Таганрогский металлургический завод, а также предприятия теплоэнергетического комплекса и автотранспорт. С помощью геохимических и санитарно-гигиенических показателей (P_n , K_s , Z_c , K_d , Z_d) выявлены основные поллютанты, проведена оценка уровней загрязнения различных функциональных зон города. Значения рН варьируются от 6,9 до 8,4, а минерализации – от 13 до 54 мг/л, достигая максимальных значений в припромышленной рекреационной и промышленной зонах. Пылевая нагрузка на территории Таганрога составляет в среднем 120 кг/км² в сутки. К элементам с наиболее высоким уровнем накопления относятся Mn и Zn (K_s 8-13). На территории города уровень загрязнения и степени экологической опасности в среднем низкий, неопасный. Однако выявлены зоны с локальными геохимическими аномалиями ПТЭ и опасным уровнем загрязнения снеговой взвеси. Высокий уровень суммарного загрязнения Z_c снежного покрова характерен для промышленной зоны. Наибольшее превышение выпадений пыли над фоновой территорией характерно для Ca и Mn в промышленной и припромышленной рекреационной зонах.

Введение. На урбанизированных территориях формируются искусственные геохимические потоки и аномалии поллютантов вследствие высокой антропогенной нагрузки. Источниками эмиссий во многих городах служат промышленные выбросы, предприятия теплоэнергетического комплекса и автотранспорт. В качестве индикатора геохимического воздействия часто используется снежный покров, который является депонирующей средой и позволяет провести интегральную оценку состояния и загрязнения атмосферного воздуха. По интенсивности загрязнения снега можно определить массу загрязняющих веществ, поступающих в почвы и поверхностные воды. Из-за меньшей скорости выпадения и большей площади поверхности снежинок по сравнению с дождевыми каплями, снег загрязняется сильнее, чем жидкие осадки [1]. При изучении снежного покрова основное внимание уделяется изменению физико-химических свойств снега, таких как рН и минерализации, а также интенсивности накопления различных поллютантов, в особенности потенциально токсичных элементов (ПТЭ).

Побережье Азовского моря испытывает существенное антропогенное воздействие, обусловленное высоким уровнем урбанизации, повышенным рекреационным использованием и сельскохозяйственной деятельностью, что вызывает необходимость изучения экологического состояния приморских городов в регионе. Один из наиболее крупных городов Восточного Приазовья – г. Таганрог. Он является торговым портом, производственным и курортным центром, входит в сотню крупнейших городов России по количеству жителей [2].

Цель работы – эколого-геохимическая оценка загрязнения г. Таганрога по снежному покрову. Решались следующие задачи: 1) охарактеризовать основные физико-химические свойства снега; 2) определить наиболее опасные элементы-загрязнители снежного покрова в различных функциональных зонах города; 3) выявить эпицентров с максимальными уровнями выпадений и концентраций ПТЭ.

Объект исследования и источники загрязнения. Исследования загрязнения снежного покрова проводились на территории Ростовской области в Таганроге. Город расположен на северо-западном берегу Таганрогского залива Азовского моря. Для данной территории характерны равнинные ландшафты со степной растительностью, которая формируется на чернозёмах обыкновенных карбонатных.

Таганрог – приморский промышленный город, крупный морской и торговый порт. Из-за расположения в наиболее развитой сельскохозяйственной части юга России город является одним из крупнейших промышленно-транспортных узлов Юга России с зерновыми перевалочными терминалами [3]. В Таганроге расположены две пассажирские и две грузовые железнодорожные станции, морской торговый порт, две взлетно-посадочные полосы, два автовокзала пригородного и междугородного сообщения. Поэтому автотранспорт, в том числе транзитный относится к числу важных источников загрязнения города.

На территории Таганрога сложилось три основных промышленных района: Северо-западный, Восточный, Юго-западный. Значительный вклад в загрязнение вносят предприятия металлургии, теплоэнергетического комплекса, пищевой промышленности, строительных материалов, свалки и твердые отходы, коммунальные, бытовые и промышленные стоки, которые сбрасываются в Азовское море. Активное влияние на экологическое состояние города оказывает крупный Таганрогский металлургический завод (ТМЗ).

Таганрог также является рекреационным и культурно-историческим центром. Месторасположение на побережье Таганрогского залива и благоприятные климатические условия делают Таганрог привлекательным для оздоровительного туризма и семейного отдыха. Однако значительное количество промышленных предприятий расположено вдоль морского побережья (например, ТМЗ, Таганрогский кожзавод, Термопласт). Целый ряд предприятий размещается в непосредственной близости от жилой застройки без соблюдения необходимых санитарно-защитных зон, что может негативно сказываться на здоровье местных жителей и отдыхающих.

Методы и материалы исследования. Снегомерная геохимическая съемка проводилась в конце января 2022 г. на территории Таганрога при максимальной высоте снежного покрова. Пробы снега отбирались методом кубов на всю мощность снежного покрова за исключением 2-х сантиметрового слоя на контакте с почвенным покровом во избежание загрязнения проб, с подсчетом количества кубов и замером сторон и глубин. Отбор проб производился с помощью предварительно отмытого совка из химически стойкого полимерного материала в полиэтиленовые пакеты. Пробоотбор производился на территориях с разной интенсивностью антропогенного воздействия. В связи с этим выделены следующие функциональные зоны: промышленная (7 проб), припромышленная рекреационная (2), транспортная (13), селитебная (11), внутриселитебная рекреационная (2) и фоновые территории (3). Для характеристики фоновых территорий были опробованы 3 точки в 15 км к востоку от Таганрога в Таганрогском районе хутора Недвиговка. Всего было отобрано 35 проб снега.

Отобранные пробы снега растапливались при комнатной температуре. В нефилтрованной талой снеговой воде проводилось определение pH потенциометрическим методом и минерализации – кондуктометрическим методом. Затем пробы с талой водой фильтровались под вакуумом через предварительно взвешенные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм, в результате чего выделялось 2 фазы: жидкая (фильтрат) и твердая (фильтр со взвесью), которые затем анализировались отдельно. Содержание элементов в твердой фазе определяли масс-спектральным (ICP-MS) и атомно-эмиссионными методами (ICP-AES) с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре «iCAP Qc» (Thermo Scientific, США) и атомно-эмиссионном спектрометре «Optima-4300 DV» (Perkin Elmer, США) соответственно, которые позволяют обнаружить сотые и тысячные доли кларков для большинства элементов. Анализ выполнялся в лаборатории ВНИИ минерального сырья имени Н.М. Федоровского сертифицированными методами (НСАМ 499-АЭС/МС, 2015) с использованием стандартных эталонных материалов и холостых проб.

На основании полученных результатов была рассчитана пылевая нагрузка (кг/км^2 в сутки) в точках на фоновой и городской территориях по формуле: $P_n = m/(S \cdot l)$, где m – масса взвеси на фильтре, кг; S – площадь верхней поверхности куба, км^2 ; l – число дней снегостава. Массу каждого элемента (мг/км^2 в сутки), который поступает на поверхность снежного покрова, рассчитывали по формуле: $D = P_n \cdot C$, где C – концентрация элемента во взвеси, мг/кг [4].

Для выявления техногенных геохимических аномалий в снежном покрове Таганрога для каждого ПТЭ рассчитывали коэффициент концентрации K_c по формуле: $K_c = C/C\phi$, где C – содержание элемента в точке, $C\phi$ – содержание элемента на фоновой территории. Также определяли коэффициент превышения выпадений ПТЭ над фоном K_d по формуле: $K_d = D/D\phi$, где D – поступление элемента в точку, $D\phi$ – поступление элемента на фоновых территориях [4].

Общая геохимическая нагрузка на ландшафты оценивалась на основе двух суммарных показателей – загрязнения снежного покрова Z_c и выпадения элементов Z_d , которые представляют собой сумму коэффициентов K_c и K_d и рассчитываются по формулам: $Z_c = \sum K_c - (n-1)$ и $Z_d = \sum K_d - (n-1)$, где n – число химических элементов с K_c или $K_d > 1,5$ [5]. Степень экологической опасности загрязнения снежного покрова ПТЭ оценивалась в зависимости от показателей Z_c , Z_d , P_n для твердой фазы снега. Данные обработаны в пакете STATISTICA 10.

Результаты исследования. Величина pH фоновых талых снеговых вод варьирует от 6,4 (слабокислая реакция) до 6,9 (нейтральная) при среднем значении 6,7. Минерализация составляет в среднем 9 мг/л. В пределах города величина pH изменяется от 6,5 (слабокислая) до 10 (сильнощелочная), то есть наблюдается подщелачивание снежного покрова в пределах города. Минерализация на территории города составляет в среднем 30 мг/л, что в 3 раза превышает фоновое значение. В зависимости от функциональной зоны pH варьирует от 6,9 до 8,4, а минерализация – от 13 до 54 мг/л, достигая максимальных значений в припромышленной рекреационной зоне (рис. 1).

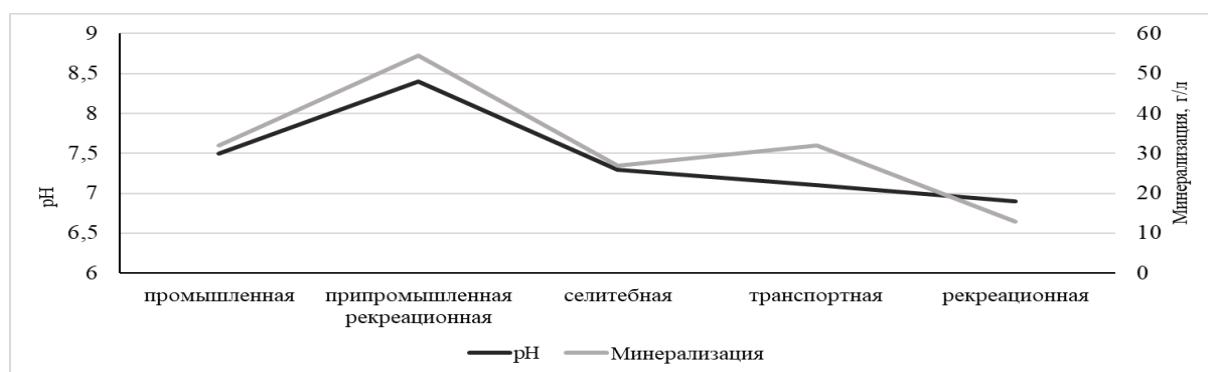


Рисунок 1. Значения pH и минерализации талой снеговой воды в разных функциональных зонах Таганрога

Пылевая нагрузка P_n на территории Таганрога в среднем составляет 120 кг/км^2 в сутки, что в 4 раза превышает данный показатель для фоновой территории. В пределах города значение P_n сильно варьирует: от 17 до 1413 кг/км^2 в сутки. При сравнении средней пылевой нагрузки в Таганроге и в крупном мегаполисе России – Москве выявлено, что значение в исследуемом нами городе до 5 раз выше по сравнению с Москвой [4]. В Москве наибольшая запыленность выявлена в транспортных зонах из-за высокой интенсивности движения транспортных средств и заторов, а в Таганроге – в промышленных зонах, что указывает на высокую долю промышленных предприятий в загрязнении окружающей среды города. Наибольшая запыленность снежного покрова выявлена на территориях промышленных зон Таганрога, где средний P_n в 8 раз превышает фоновые значения. Максимальное значение суточной нагрузки наблюдается в этой же зоне вблизи с мартеновским цехом по выплавке металлолома ТМЗ и крупной транспортной развязкой и составляет 1413 кг/км^2 в сутки, что почти в 45 раз выше фона. Так, на мартеновском производстве ТМЗ, в состав которого входит 3 мартеновские печи, в качестве резервного топлива используется мазут. В результате его сжигания в атмосферном воздухе города увеличивается содержание таких загрязняющих веществ, как NO_2 , CO_2 , SO_2 , а также пылевых мелкодисперсных частиц, которые при выпадении осаждаются на поверхности снежного покрова и почв [6].

Значения коэффициента концентрации K_c ПТЭ в снеговой пыли достаточно сильно варьируют. В группу элементов с высокой интенсивностью накопления входят Mn и Zn с K_c 8-13. Повышенный уровень накопления выявлен для Cr, Cu, W, Ca и Mo, K_c 3-5. Менее активно накапливаются Cd, Pb, Sb, Mg, Sn и Fe с $K_c < 3$. Содержание остальных элементов – Co, Ni, Bi, S, P, Al, Na, K, Be, Li близко к фоновому уровню (K_c около 1). К элементам с высоким уровнем накопления практически во всех функциональных зонах относится Mn. Максимальные значения K_c Mn выявлены в промышленной и припромышленной рекреационной зонах рядом с предприятиями металлообработки.

Суммарное загрязнение снежного покрова Z_c изменяется от низкого уровня загрязнения (25) до очень высокого (156). Максимальные значения Z_c характерны для промышленной и припромышленной рекреационной зон (в среднем 86 и 66 соответственно), где выявлен высокий уровень загрязнения. Относительно низкий показатель Z_c 37 зафиксирован в снеговой взвеси рекреационной зоны, где уровень загрязнения соответствует среднему умеренно опасному [7].

Таблица 1

Интенсивность накопления ПТЭ в снеговой взвеси разных функциональных зон Таганрога

Зона	K_c				Z_c
	> 10	5-10	2-5	1,5-2	
Промышленная	Mn ₂₅ Zn ₁₆	Cr ₉ Ca ₇ W ₇	Mo _{4,9} Cd _{4,4} Cu _{3,3} Mg _{2,9} Pb _{2,6} Fe _{2,6} Sn _{2,3} Sb _{2,1}	Ni _{1,7} Co _{1,6}	86
Транспортная	—	Cu ₇ Mn ₇	Zn _{4,8} W _{4,1} Cr _{3,1} Ca _{2,8} Cd _{2,4}	Pb _{1,7} Mo _{1,7} Sn _{1,5}	42
Селитебная	Mn ₁₂	Zn ₇	Cr _{4,8} W _{4,3} Mo _{4,1} Cu _{3,1} Cd _{2,4} Pb _{2,3} Ca _{2,0}	Sb _{1,6} Sn _{1,6} Fe _{1,6} Mg _{1,6} P _{1,5}	50
Рекреационная	—	Sb ₇	Bi _{4,4} Mn _{3,8} Zn _{2,9} Pb _{2,2} Cu _{2,2} Cr _{2,1}	Cd _{1,9} W _{1,8} Sn _{1,7} Ca _{1,5}	37
Припромышленная рекреационная	Mn ₂₄	Zn ₇ Ca ₇ Cr ₇	Mg _{3,7} Cd _{3,5} W _{3,5} Mo _{2,5}	Cu _{1,9} Pb _{1,8}	66

Формирование техногенных аномалий в снежном покрове городов зависит от распределения выпадения, то есть иммиссии ПТЭ из атмосферы на поверхность снежного покрова, которое в Таганроге для многих ПТЭ в несколько раз превышает фоновое. Наибольшее значение K_d характерно для Mn в промышленной и припромышленной рекреационной зонах и для Ca – в промышленной зоне (рис. 2). Это связано с применением металлического марганца на ТМЗ в качестве легирующего элемента при производстве трубных сталей с высоким уровнем прочности и хладостойкости. Высокое значение Ca объясняется использованием дуговой сталеплавильной печи на ТМЗ [8], на которой в результате выплавки стали для раннего шлакообразования вводят известь в количестве 2-3% от массы металлической шихты. В снежном покрове транспортной, селитебной и рекреационных зон превышение выпадений ПТЭ над фоновыми территориями составляют около 20.

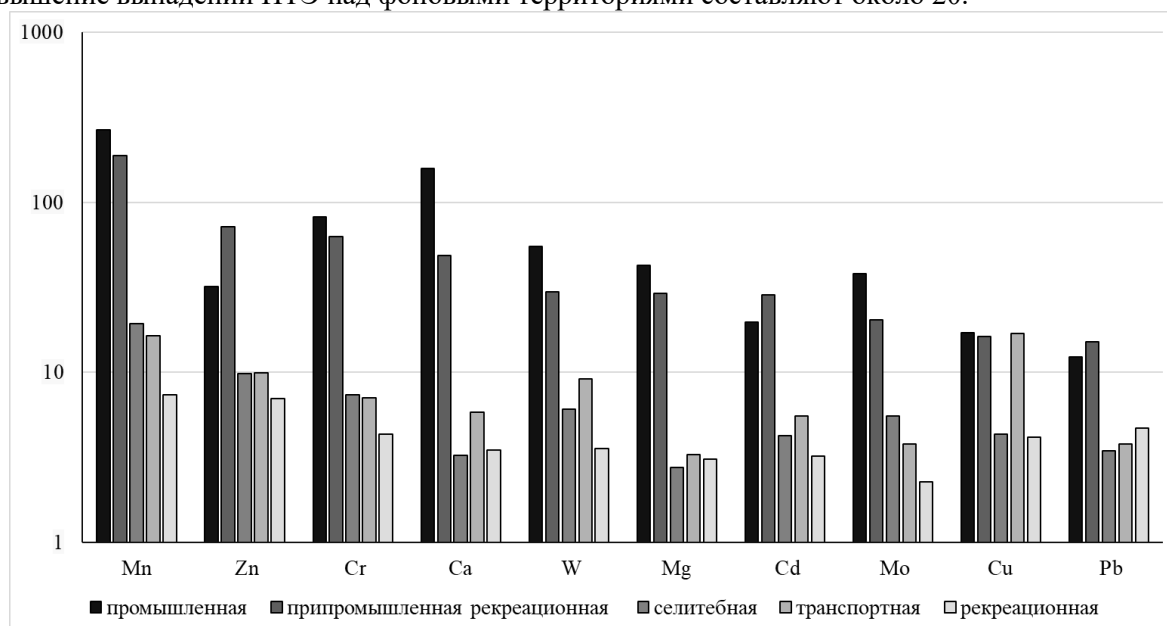


Рисунок 2. Коэффициент выпадения Z_d для ПТЭ в снежном покрове различных функциональных зон Таганрога

Суммарная иммиссия элементов, определяемая величиной Z_d , варьирует в городе от нескольких единиц в селитебных и рекреационных зонах до 800 преимущественно в промышленной и припромышленной рекреационной зонах. Наибольший вклад в суммарный показатель имиссии на этих территориях вносит выпадение Mn и Ca. На территории всего города значения Z_d составляют меньше 1000, поэтому уровень суммарной иммиссии соответствует низкому, неопасному [7].

Анализ данных проводился в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ им. М.В. Ломоносова "Будущее Планеты и глобальные изменения окружающей среды".

Литература

1. Westerlund C., Viklander M. Particles and associated metals in road runoff during snowmelt and rainfall // Sci. of Tot. Environ. 2006. Vol. 362. Iss. 1-3. P. 143-156.
2. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/12781> (дата обращения 01.06.2023).
3. Стратегия социально-экономического развития муниципального образования «Город Таганрог» на период до 2030 года. Официальный сайт городской думы города Таганрога, 2018. <https://dumataganroga.ru/regulatory/resheniya-gorodskoy-dumy-goroda-taganroga/2018/2018-12-26-r-527.pdf>
4. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Власов Д.В., Терская Е.В. Геохимия снежного покрова в восточном округе Москвы// Вестн. Моск. Ун-та сер. 5. География. 2012. №4.
5. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
6. Нови И.Н. Эколого-географическая оценка состояния окружающей среды промышленных городов (на примере г. Таганрога): дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36. Ростов-на-Дону, 2002. 200 с.
7. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. М.: ИМГРЭ, 2006. 7 с.

8. Шеремет Р.Д., Гапонов Д.А. Электромагнитная обстановка на металлургическом заводе // Наука сегодня: проблемы и пути решения. 2016. С. 102-103.

POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS IN THE SNOW COVER OF TAGANROG

Bezberdaya L.A., Khoziainova D.A., Hrebtenko A.S., Krylova A.A., Krechetov P.P.
Lomonosov Moscow State University

Geochemical survey of snow cover was carried out in January 2022 on the territory of Taganrog and Taganrog district. The physicochemical characteristics (pH, mineralization) of snowmelt water and the content of potentially toxic elements in the snow suspension were determined. The main sources of pollution of the city are the Taganrog Metallurgical Plant, as well as enterprises of the thermal power complex and motor transport. With the help of geochemical and sanitary-hygienic indicators (P_n , Kc , Zc , Kd , Zd), the main pollutants were identified, pollution levels of various functional zones of the city were assessed. pH values range from 6,9 to 8,4, and mineralization – from 13 to 54 mg/l, reaching maximum values in the industrial recreational and industrial zones. The dust load on the territory of Taganrog averages 120 kg/km² per day. The elements with the highest accumulation level include Mn and Zn (Kc 8-13). On the territory of the city, the level of pollution and the degree of environmental danger is on average low, non-dangerous. However, zones with local geochemical anomalies of PTE and a dangerous level of contamination of snow suspension have been identified. A high level of total Zc pollution of the snow cover is characteristic of the industrial zone. The greatest excess of dust deposition over the background area is typical for Ca and Mn in industrial and industrial recreational zones.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ЗАПАДНОМ АДМИНИСТРАТИВНОМ ОКРУГЕ МОСКВЫ

маг. Гапизжанулы Г., доц., к.б.н. Кречетов П.П., с.н.с., к.г.н. Мозгунов Н.А.
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва

На основе анализа данных о состоянии атмосферного воздуха на постах наблюдения ГПБУ «Мосэкомониторинг» и результатов расчета приземных концентраций загрязняющих веществ в специализированном программном пакете «ЭРА-Воздух» смоделировано состояние воздушного бассейна на территории Западного административного округа г. Москвы (ЗАО) и МГУ. Моделирование выполнено с применением инструментов растровой алгебры, визуализация уровня загрязнения осуществлена в виде полей концентраций отдельных загрязняющих веществ. Расчет интегрального показателя загрязнения и визуализация результатов проведены в программе «ArcGIS Desktop». Установлено, что на территории ЗАО отсутствует связь между высокими концентрациями тяжелых металлов в почве и основным источником загрязнения автотранспортом и наличием иных источников загрязнения. Это связано с низкой миграционной способностью аэрозольных частиц, которые образуются при истирании тормозных колодок автомобилей. Сравнительный анализ моделирования загрязнения атмосферного воздуха и данных снегомерной съемки по содержанию тяжелых металлов показал, что загрязнение тяжелыми металлами не привязано к автомагистралям. Повышенные концентрации по разным химическим элементам зафиксированы не только возле дорог, но и внутри дворовых площадок. Это может быть обусловлено не только выбросами автотранспорта, но и другими факторами, например, работами по благоустройству дворовых территорий.

Введение. В настоящее время проблема качества атмосферного воздуха является все более актуальной в связи с увеличением количества источников выбросов и ростом урбанизации. В крупнейших городах, таких как Москва, загрязнение воздуха является серьезной проблемой, которая оказывает негативное воздействие на здоровье людей и экосистемы [2, 8, 9]. Для разработки эффективной стратегии борьбы с этой проблемой важно исследование пространственной дифференциации содержания поллютантов в атмосфере городов.

Качество воздуха определяется концентрациями опасных газообразных загрязнителей, таких как CO, NO₂, O₃, SO₂, а также твердых частиц размером менее 10 мкм (PM₁₀). Химический состав PM₁₀ включает как антропогенные, так и природные источники загрязнения тяжелыми металлами и металлоидами. Особое внимание уделяется тому, что самые высокие концентрации мелких фракций аэрозолей, таких как PM_{2,5} (частицы размером менее 2,5 мкм), которые образуются в выбросах от разнообразных источников загрязнения (транспорт, промышленность, энергетика, автотранспорт, строительство, дорожная пыль, пожары) имеют токсическое воздействие на здоровье человека и могут приводить к обострению астмы, раку легких и сердечно-сосудистым и легочным заболеваниям. В свете этой проблемы Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) и агентства по охране окружающей среды разных стран ввели предельно допустимые концентрации для среднегодового и суточного содержания PM₁₀ и PM_{2,5} в воздухе. Наиболее серьезную проблему создают мегаполисы, где уровень

PM_{2,5} превышает 89 мкг/м³, в то время как самые чистые районы имеют среднегодовое значение PM_{2,5} менее 10 мкг/м³ [1, 2, 3].

Автотранспорт является главным источником загрязнения воздуха во многих городах, и, как следствие, максимальные концентрации загрязнителей чаще всего наблюдаются в час-пик. Микрочастицы, содержащие тяжелые металлы, образуются от истирания тормозных колодок, шин и механических деталей транспортных средств, а также поступают с дорожной пылью, поднимаемой с поверхности. Исследования, проведенные различными авторами, показали, что частицы, образующиеся при износе тормозов, являются основным компонентом выбросов от автомобилей [4, 5, 6]. Кроме того, химический состав частиц может значительно отличаться в зависимости от типа транспортного средства. Например, повышенные концентрации цинка и меди от автомобилей и автобусов были связаны с частицами, образующимися при износе тормозов и шин. Эти результаты подчеркивают важность учета типа транспортного средства при проведении исследований воздействия автотранспорта на окружающую среду.

Цель данной работы – пространственная оценка качества атмосферного воздуха в Западном административном округе (ЗАО) г. Москвы. Для ее достижения был выполнен пространственный анализ данных по загрязнению приземного воздуха в ЗАО и определена роль физико-географических факторов в формировании качества атмосферного воздуха.

Материалы и методы. Данные о состоянии атмосферного воздуха анализировались по постам наблюдения ГПБУ «Мосэкомониторинг» в г. Москве (mosesom.mos.ru). В расчетах использовали ежедневные метеорологические данные фактически зарегистрированных параметров скорости и направления ветра, температуры и давления на метеостанции МГУ. Для изучения источников загрязнения проводилась оценка интенсивности движения автотранспорта в местах расположения постов мониторинга с использованием сервиса Яндекс-пробки.

Приземные концентрации определялись в специализированном программном пакете «ЭРА-Воздух», который рассчитывает загрязнение по методике МРР-2017, 10-й раздел. Расчет интегрального показателя загрязнения и визуализация результатов проводился в ПО «ArcGIS Desktop». По результатам расчетов концентраций загрязняющих веществ было смоделировано состояние воздушного бассейна ЗАО и территории МГУ с применением инструментов растровой алгебры, также выполнена визуализация уровней загрязнения в виде полей концентраций отдельных загрязняющих веществ.

Результаты. Высокая транспортная нагрузка является основным источником загрязнения атмосферы в ЗАО г. Москвы. Максимальное загрязнение оксидами азота наблюдается на пересечении наиболее крупных автомагистралей: Ленинского проспекта и МКАД (рисунок 1).

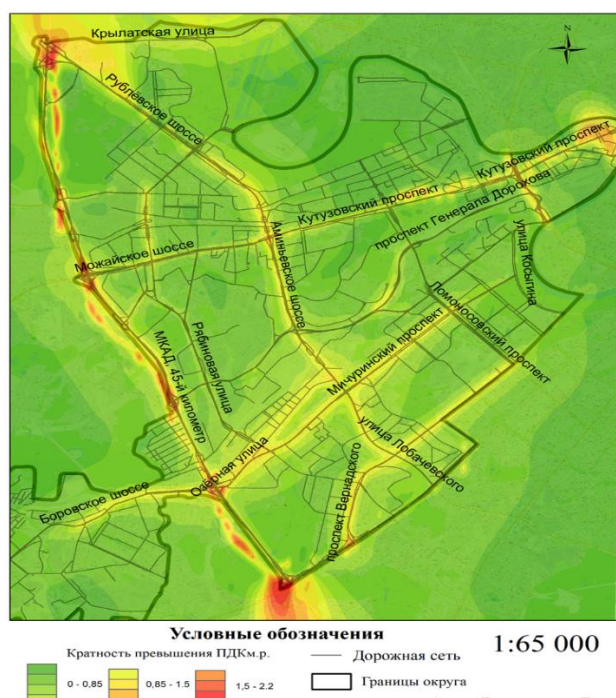


Рисунок 1. Результаты моделирования среднесуточного распределения содержания NO_x в воздухе в Западном административном округе г. Москва.

Ареалы с высоким загрязнением воздуха наблюдаются на протяжении всего МКАД, который имеет высокую пропускную способность и более высокий процент грузового транспорта. На крупных автомагистралях, таких как Ленинский, Кутузовский проспекты, выявлены повышенные концентрации загрязняющих веществ, особенно оксидов азота, которые негативно сказываются на качестве атмосферного воздуха в этих районах. Причиной этого явления может быть большой поток автомобилей и увеличение доли грузовых машин, использующих дизельное топливо. На территории других функциональных зон ЗАО, не связанных с транспортной инфраструктурой, пространственная дифференциация загрязнения воздуха менее выражена. На селитебных территориях и в парках загрязнение значительно меньше. Это говорит об активном разбавлении загрязненного воздуха в результате перемешивания воздушных масс по мере удаления от источников поступления загрязняющих веществ в городе.

Топографические особенности округа, а также направление ветра, оказывают влияние на формирование состояния приземного воздуха путем создания естественных или искусственных преград, таких как здания или ландшафтные элементы, которые могут снизить приток загрязненного воздуха на определенные участки. Например, многоэтажные здания увеличивают продуваемость улицы с автомобильным движением, проходящей между ними, что благоприятно влияет на рассеивание загрязняющих веществ.

Суточная динамика концентраций загрязняющих веществ, в частности, оксидов азота показывает, что максимальные значения фиксируются не в часы пик, а в промежутке с 20 до 23 часов. Это связано с влиянием приземных инверсий температур, которые препятствуют вертикальной стратификации воздуха, а также с особенностями образования и разрушения NOx в отсутствие солнечного света [7].

Увеличение интенсивности движения и снижение скорости транспортных средств являются ведущими факторами усиления загрязнения атмосферного воздуха. При равной пропускной способности дорожной сети низкая скорость движения автомобилей и частое торможение оказывают отрицательное влияние на качество воздуха, так как в данных условиях происходит неполное сгорание топлива, что приводит к увеличению содержания загрязняющих веществ в выхлопных газах. Большое количество микрочастиц, обогащенных потенциально токсичными элементами, поступает в результате интенсивного истирания тормозных колодок при низкой скорости движения и частом торможении.

На территории ЗАО отсутствует связь между высокими концентрациями тяжелых металлов в почве и основным источником загрязнения автотранспортом и наличием иных источников загрязнения. По-видимому, это связано с низкой миграционной способностью аэрозольных частиц, которые образуются при истирании тормозных колодок автомобилей. Также стоит отметить, что пониженные уровни загрязнения почв на исследуемых участках могут быть связаны с работами по благоустройству территории, сопровождающимися заменой почвы на газонах.

Сравнительный анализ результатов расчетов загрязнения воздуха и данных мониторинга показывает, что среди действующих методик, наиболее приближенные к реальности значения выдает МПР-2019. Данная методика учитывает время нахождения автотранспорта на перекрестках, что влияет на выбросы выхлопных газов. Кроме того, пробеговые выбросы по категориям транспорта, предложенные в МПР-2019, соответствуют современному состоянию среднестатистического экологического класса автотранспорта и используемого топлива.

Для анализа единовременной нагрузки транспорта основных дорог на территории МГУ, были запрошены данные камер видеонаблюдения у Центра организации дорожного движения (ЦОДД) Правительства Москвы. Камеры позволили собрать количественные данные о параметрах дорожного движения в режиме реального времени, таких как количество, скорость и время простоя транспортных средств. Камеры охватывают основные дороги, влияющие на загрязнение воздуха в районе МГУ: проспекты Мичуринский, Ломоносовский, Университетский и Вернадского. Выбранные сегменты дорог были проанализированы по наблюдениям с 3 февраля по 5 марта 2023 года. Согласно ранее выявленным тенденциям, как маркерные, были выбраны дни пятница и воскресенье. В эти дни часовые промежутки с 8 до 9, с 13 до 14, с 18 до 19 и с 22 до 23 часов.

Результаты натурных наблюдений за интенсивностью автотранспорта на территории, прилегающей к автоматической станции контроля загрязнения атмосферы «МГУ», показали, что количество автомобилей в пятницу превышает уровень в другие дни недели, за исключением праздников, когда поток автомобилей может снижаться. Эти данные подчеркивают влияние рабочих дней на интенсивность автотранспортного движения и, следовательно, на уровень загрязнения воздуха. Полученные данные позволили рассчитать годовые выбросы различных сегментов дорог. В результате

анализа этих данных установлено, что на территории МГУ пересечение Ломоносовского и Вернадского, а также Ломоносовского и Мичуринского проспектов являются участками с наиболее высоким уровнями загрязнения воздуха (рисунок 2).

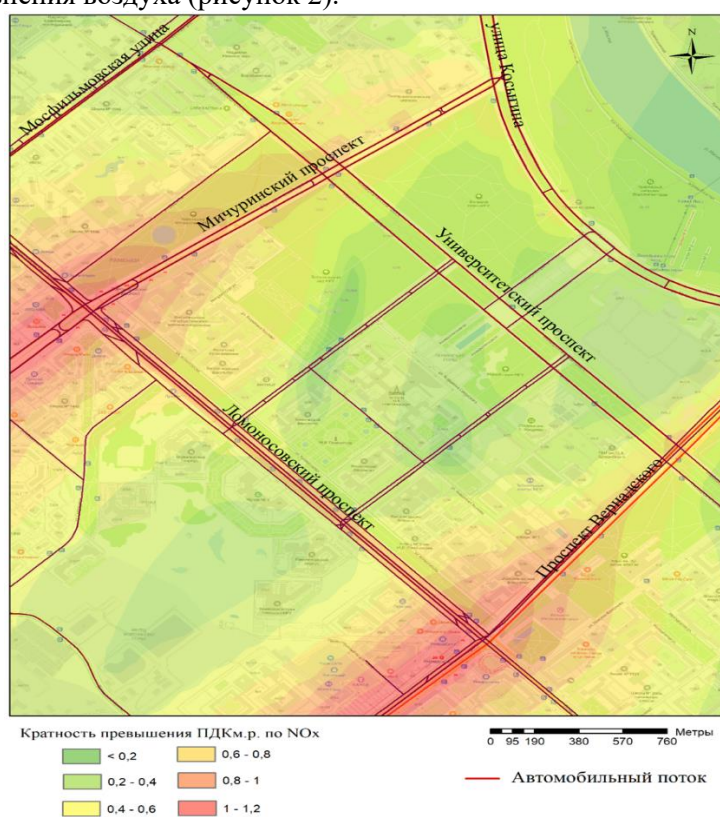


Рисунок 2. Среднесуточное распределение содержания NOx для территории МГУ, рассчитанное в УПРЗА «ЭРА»

Заключение. Сравнительный анализ результатов моделирования загрязнения атмосферного воздуха и данных снегомерной съемки по содержанию тяжелых металлов в пределах территории МГУ показал, что загрязнение снега тяжелыми металлами не привязано к определенному источнику загрязнения и, прежде всего, к автотранспорту. Повышенные концентрации по разным элементам зафиксированы не только возле дорог, но и внутри дворовых площадок. Более того, возле дорог с одинаковой интенсивностью движения не наблюдается сопоставимых значений концентраций тяжелых металлов в снеге.

Анализ результатов, полученных в ходе исследования, указывает на важность разработки и реализации эффективных мер по сокращению выбросов от автотранспорта, а также улучшению системы общественного транспорта. Дальнейшее изучение и улучшение ситуации с загрязнением воздуха на территории Москвы должны быть приоритетом в экологической стратегии города.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 19-77-30004-П по теме «Технология оценки экологического состояния Московского мегаполиса на основе анализа химического состава микрочастиц в системе «атмосфера–снег–дорожная пыль–почвы–поверхностные воды» (Мегаполис)».

Литература

1. Гордеев Л.Ю., Корнилов А.Г., Полетаев А.О. О влиянии автотранспорта на загрязнение атмосферного воздуха в горнопромышленных и селитебных районах региона КМА // Научные ведомости БелГУ. Естественные науки, 2015. С. 168–175.
2. Касимов Н.С., Битюкова В.Р., Власов Д.В. Экологическое состояние городов России. Геохимия ландшафтов и география почв. М.: АПР, 2012. С. 157–185.
3. Коломейцева О.Л. Оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха на заболеваемость населения в городах Приморского края // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2013. № 4. С. 79-84.

4. Корнилов А.Г., Гордеев Л.Ю. Мониторинг автотранспортного загрязнения воздушного бассейна города Белгорода в переходные периоды года // Экологические системы и приборы, 2012. С.46–50.
5. Anenberg SC, West JJ, Yu H, Chin M, Schulz M, Bergmann D, et al. Impacts of intercontinental transport of anthropogenic fine particulate matter on human mortality. //Air Qual Atmos Health 2014. Vol. P. 369–379.
6. Jerrett M, Burnett RT, Beckerman BS, Turner MC, Krewski D, Thurston G, et al. Spatial analysis of air pollution and mortality in California. //Am J Respir Crit Care Med. 2013. Vol. 188. P. 593–612.
7. Larkin A, Hystad P. Towards Personal Exposures: How Technology Is Changing Air Pollution and Health Research. // Current Environmental Health Reports. 2017. Vol. 4. P.463–471.
8. Vlasov D., Kosheleva N., Kasimov N. Spatial distribution and sources of potentially toxic elements in road dust and its PM10 fraction of Moscow megacity // Sci. Total Environ. 2021. V. 761. Article № 143267.
9. Vlasov, D., Vasil'chuk, J., Kosheleva, N., & Kasimov, N. Dissolved and suspended forms of metals and metalloids in snow cover of megacity: partitioning and deposition rates in Western Moscow // Atmosphere, 2020. 11(9), 907.

SPATIAL DIFFERENTIATION OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN THE WESTERN ADMINISTRATIVE DISTRICT OF MOSCOW

Gapizhanuly G., Krechetov P.P., Mozgunov N.A
Lomonosov Moscow State University, Moscow

Modeling of the state of the air basin of the Western administrative okrug (WAO) and the territory of the Moscow State University was carried out using data on the state of atmospheric air from the observation points of the GPBU "Mosekomonitoring" and the results of calculating the surface concentrations of pollutants in the specialized software "ERA-Air". Modeling was performed using raster algebra tools, and the pollution levels were visualized in the form of concentration fields for individual pollutants. The calculation of the integral indicator of pollution and visualization of the results were carried out in the ArcGIS Desktop software. It has been established that there is no connection between high concentrations of heavy metals in the soil and sources of pollution (including vehicles) on the territory of the WAO. This is due to the low migration ability of aerosol particles that form during abrasion of car brake pads. A comparative analysis of the results of atmospheric air pollution modeling and snow survey data on the content of heavy metals showed that heavy metal pollution is not related to motor vehicles. Increased concentrations of various chemical elements were recorded not only near roads, but also inside courtyards. This may be due not only to vehicle emissions, but also to other factors, such as the microclimatic features of this site or the improvement of courtyard areas.

ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ МЕГАПОЛИСА

маг. Дмитриенко И.В., доц. Кречетов П.П.
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва

Изучена пространственная дифференциация состава грунтовых вод в пределах г. Астана (Республика Казахстан). С помощью инструмента интерполяции IDW в программном пакете ArcGIS составлены карты глубины залегания и минерализации грунтовых вод, содержания в них ионов кальция, магния, натрия, гидрокарбонатов, хлора и сульфатов, а также карты засоления почв и пород. На основании собранных данных выявлены природные и антропогенные факторы, влияющие на химический состав и глубину залегания грунтовых вод на исследуемой территории. Химический состав и минерализация грунтовых вод в г. Астана характеризуется высокой пространственной вариабельностью. Большая часть грунтовых вод в пределах городской черты средней и низкой минерализации и хлоридно-сульфатным натриево-магниевым составом; величина pH 7-7,5, что характеризует их как нейтральные. В северной части города наблюдается рост минерализации и изменение состава солей в водах на хлоридно-натриевый. Ведущим фактором формирования химического состава грунтовых вод является природный, их состав определяет высокое содержание легкорастворимых солей в водовмещающей и залегающей над ней породах. На основе данных о степени засоления горных пород и грунтовых вод проведено зонирование территории по степени пригодности для озеленения травянистой и древесно-кустарниковой растительностью.

Введение. В настоящее время водоснабжение крупных городов обеспечивается централизованно, из водохранилищ или подземных источников, залегающих на большой глубине. Однако близкое расположение к поверхности грунтовых вод и их низкое качество для современных городов по-прежнему является актуальной проблемой. От состава грунтовых вод зависит механическая прочность фундамента, а следовательно, устойчивость зданий и сооружений. Их

неглубокое залегание может оказывать неблагоприятное влияние на состояние зеленых насаждений. Формирование грунтовых вод происходит под влиянием множества факторов, начиная от состава горных пород и заканчивая антропогенным воздействием. Хозяйственная деятельность может приводить к изменению химического состава грунтовых вод, а также глубины их залегания. Нарушение режима грунтовых вод происходит в результате воздействия на них большого количества факторов: инфраструктуры городской жилищно-коммунальной службы, систем водоснабжения и канализации, сельского хозяйства, промышленности и др. Большую роль оказывает строительство. Современные высотные здания предъявляют повышенные требования к качеству пород и наличию грунтовых вод. Очень часто при строительстве проводят мероприятия по снижению обводненности грунтов, что может вызывать падение уровня грунтовых вод на сопредельных территориях. Нередко на качество грунтовых вод влияют поверхностные водоемы, с которыми они тесно взаимосвязаны.

Целью данной работы являлось выявление особенностей формирования грунтовых вод в крупных городах на примере г. Астана, столицы Республики Казахстан. Для достижения поставленной цели проведена оценка пространственной дифференциации глубины залегания и химического состава грунтовых вод, выявлены природные и антропогенные факторы, влияющие на их состав в пределах исследуемой территории.

Материалы и методы. Объектом исследования являются породы и грунтовые воды, залегающие в пределах г. Астана. Данные о глубине залегания и химическом составе вод и пород были собраны в результате инженерно-экологических изысканий и предоставлены авторам ТОО СЦАРИ «Жанат». С помощью инструмента интерполяции IDW в программном пакете ArcGIS составлены карты глубины залегания и минерализации грунтовых вод, содержания в них ионов кальция, магния, натрия, гидрокарбонатов, хлора и сульфатов, а также карты засоления пород.

Результаты. Химический состав и минерализация грунтовых вод в г. Астана характеризуется высокой пространственной вариабельностью. Большая часть грунтовых вод в пределах городской черты имеет среднюю и низкую минерализацию и хлоридно-сульфатно-натриево-магниевый состав. Величина pH 7-7,5, что характеризует их как нейтральные. В северной части города наблюдается рост минерализации и изменение состава солей на хлоридно-натриевый.

Доминирующим фактором формирования химического состава грунтовых вод является природный, а именно высокое содержание легкорастворимых солей в водовмещающей и залегающей над ней породах. Больше половины территории города покрыто сильнозасоленными почвами, иногда солончаками (рисунок 1). Причиной засоления почв является неглубокое залегание пестроцветных засоленных пород тяжелого гранулометрического состава, которые являются водоупором и приводят к близкому залеганию к поверхности минерализованных грунтовых вод. Грунтовые воды залегают на глубине 3-6 м. Минимальные глубины залегания (до 1 м) отмечаются в западной части города и связаны с низкими гипсометрическими уровнями. Заболачивание территории на севере и северо-востоке города вызвано близким залеганием к поверхности глинистого водоупорного слоя.

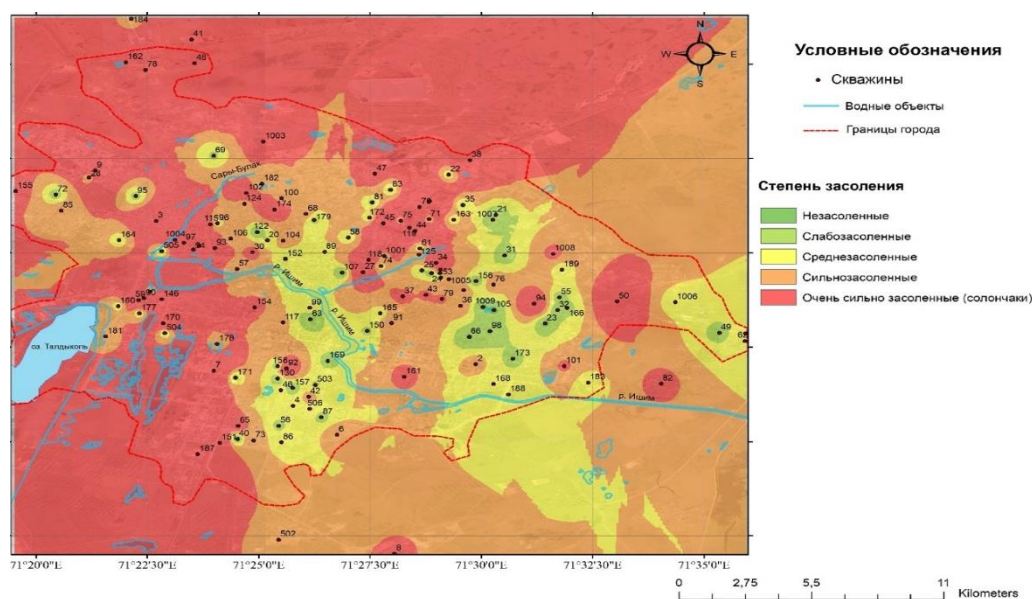


Рисунок 1. Карта засоления почв г. Астана

Интенсивное антропогенное воздействие в городе оказывает значительное влияние на формирование химического состава грунтовых вод и увеличивает неоднородность их состава. Создание инженерной защиты от подтопления и дренаж левобережной части города, а также уменьшение антропогенного сброса в озеро Талдыколь привели к снижению уровня грунтовых вод и росту их минерализации. В ионном составе преобладают натрий и хлор. Кроме того, повышенное содержание ионов натрия и хлора в грунтовых водах и почвах в зоне городской застройки может быть частично обусловлено поступлением в них противогололедных реагентов после зимнего сезона, которые представлены, как правило, хлоридами натрия.

Грунтовые воды под предприятиями по производству и продаже цемента и бетона также характеризуются увеличением минерализации, но в их составе отмечается рост концентраций магния и кальция.

Влияние антропогенного фактора на пространственную дифференциацию сульфат-ионов не выявлено, что позволяет сделать вывод о ведущей роли в формировании их концентрации исходного содержания сульфатных солей в водонасыщенных породах.

В зоне влияния пожарного депо наблюдается рост pH в грунтовых водах до 9,5 и смене химизма солей на карбонатно-натриевый. Эти изменения позволяет предполагать несанкционированные стоки средств пожаротушения, содержащие щелочные растворы (рисунок 2).

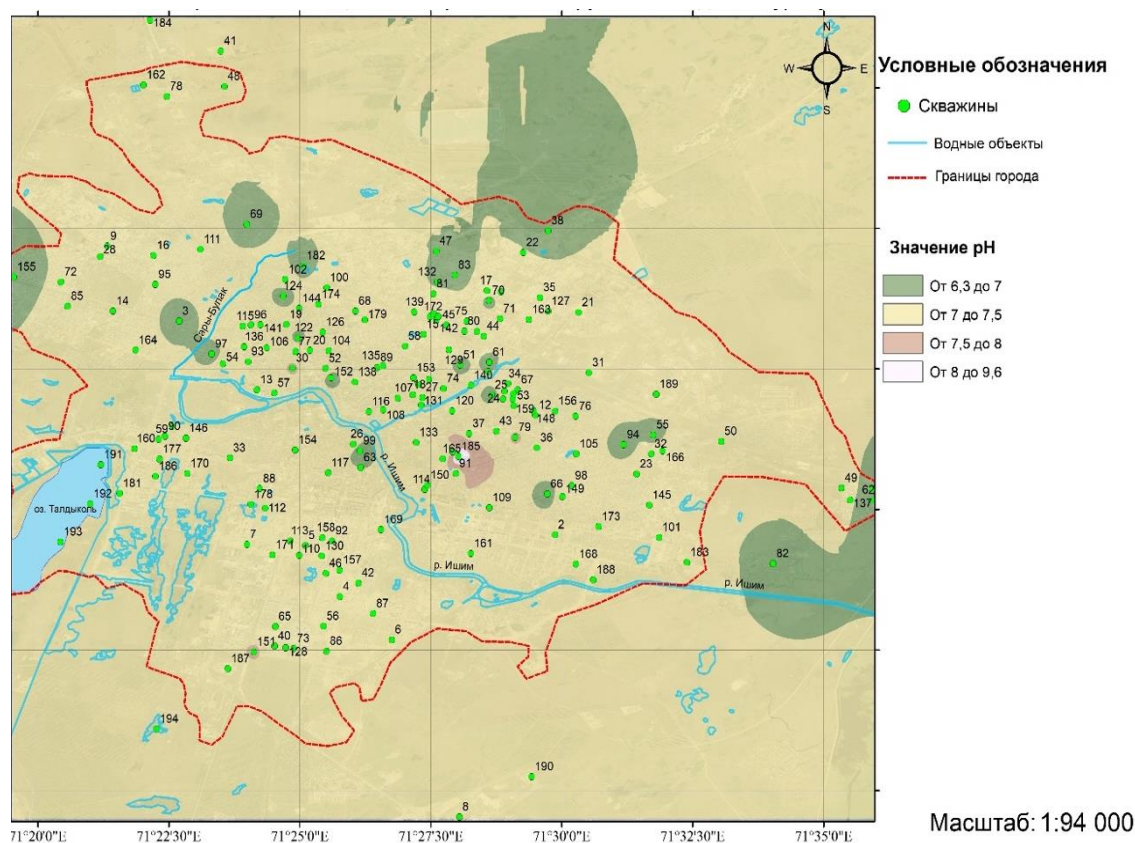


Рисунок 2. Карта pH грунтовых вод г. Астана

Грунтовые воды и почвы восточного левобережья города являются наиболее пригодными для их использования в хозяйственно-технических целях и для орошения, а гидрогеологические условия благоприятны для создания парков и озеленения жилых районов.

Заключение. Проанализировав информацию о степени засоления горных пород и грунтовых вод в пределах города Астана, можно условно выделить зоны с разной степенью пригодности для озеленения травянистой и древесно-кустарниковой растительностью (рис. 2).

Южные территории города являются наиболее пригодными для озеленения, так как на них практически отсутствует засоление почв, а грунтовые воды имеют низкую минерализацию. Эти почвы преимущественно супесчаные или сложены легкими суглинками, а водовмещающей горизонт песками. Глубина залегания грунтовых вод на данной территории колеблется преимущественно от 3

до 6 метров, что является оптимальным для древесной растительности. В совокупности набор таких характеристик создает хорошо дренированные территории с малым риском засоления в будущем и благоприятными для растительности условиями. Химический состав и малая минерализация вод позволяет их использовать в качестве источника орошения для зеленых насаждений города, а низкое содержание катионов натрия в почве и воде снижает риск осолонцевания.

Территория средней и малой пригодности занимает западную и северо-восточную часть города. Данная территория сложена породами с более тяжелым гранулометрическим составом, что уменьшает естественное дренирование почв. В результате осушительных работ и снижения уровня воды в озере Талдыколь грунтовые воды имеют высокую минерализацию, а почвы становятся сильнозасолёнными. На большей части территории грунтовые воды залегают на глубине от 1 до 3 метров. В химическом составе грунтовых вод присутствует высокая концентрация катионов натрия, что повышает риски осолонцевания при использовании данной воды для орошения. Однако концентрации невысокие и при использовании для полива при дефиците влаги пригодны для орошения парков и зеленых насаждений. Поскольку почвы на данном участке засолены, для озеленения рекомендуются использовать солеустойчивые виды растений.

Непригодными для озеленения по всем условиям является северная часть города и заболоченный участок на востоке города, которые сложены преимущественно тяжелым суглинком и пестрыми глинами желтого цвета. Почвы и грунтовые воды обогащены легкорастворимыми солями, и нередко образуют солончаки. Минерализация грунтовых вод достигает 60 г/л, а содержание солей в почве превышает 2,5–3%. Помимо высокой минерализации грунтовых вод, они также достаточно близко залегают к поверхности, что может привести к еще большему засолению почв и осолонцеванию в результате капиллярного поднятия.

Результаты данной работы могут использоваться при планировании размещения парков, лесонасаждений, дачных товариществ и прочих объектов городской инфраструктуры.

Авторы выражают благодарность ТОО СЦАРИ «Жанат» за предоставленные материалы исследований о химическом составе вод.

Обработка и анализ данных выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ № 19-77-30004-П по теме «Технология оценки экологического состояния Московского мегаполиса на основе анализа химического состава микрочастиц в системе «атмосфера–снег–дорожная пыль–почвы–поверхностные воды» (Мегаполис)»

NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS FOR THE FORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF GROUNDWATER IN THE TERRITORY OF A MEGAPOLIS

Dmitrienko I.V., Krechetov P.P.

Lomonosov Moscow State University, Moscow

A study of chemical composition of groundwater was made within the city of Astana (The Republic of Kazakhstan). Using the IDW interpolation tool in ArcGIS software, maps of the depth of groundwater, mineralization, the content of calcium, magnesium, sodium, bicarbonate, chlorine and sulfate ions, as well as rock salinity maps were compiled. Based on the collected data, natural and anthropogenic factors were identified that affect the chemical composition and depth of groundwater in the study area. The chemical composition and mineralization of groundwater in Astana is characterized by high spatial variability. Most of the groundwater within the city is of medium and low mineralization and has chloride-sulfate sodium-magnesium composition. The pH value is 7-7.5, which characterizes them as neutral. In the northern part of the city, an increase in mineralization and a change in the composition of salts in the waters to sodium chloride are observed. The dominant factor in the formation of the chemical composition of groundwater is natural, namely, the high content of easily soluble salts in the water-bearing and overlying rocks. On the basis of data on the degree of salinization of rocks and groundwater, zoning of the territory was carried out according to the degree of suitability for landscaping with herbaceous and tree-shrub vegetation.

МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ СОЛЕНОГО САКСКОГО ОЗЕРА (РЕСПУБЛИКА КРЫМ)

к.т.н. Гайский П.В.¹, д.б.н. Руднева И.И.¹, Шайда О.В.¹, Шайда В.Г.²

¹ФГБУН Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

²ООО «Экосервис А», Москва

Сакское озеро — одно из наиболее крупных приморских соленых озер Крыма на юго-западном побережье Черного моря. Под воздействием климатических факторов и биоты в озере сформировались специфические условия, изменяющиеся в течение года. Проводятся исследования сезонной динамики температуры воздуха и рапы в озере стандартными методами с помощью точечных термометров, а также с помощью телеметрической системы на базе распределенного датчика температуры (термопрофилера), установленного на границе разделов воздух→рапа→донные отложения. Термопрофилер с измерительной базой 4,8 м был установлен вертикально на глубину 3 м грязевых донных отложений. Распределенная дискретизация датчика представляет из себя 24 участка длиной по 20 см каждый. Изменения границы уровня водной поверхности имеют сезонный характер и колеблются в диапазоне до $\pm 0,5$ м. Обеспечение телеметрической регистрации и отображения данных осуществляется с помощью независимого модуля памяти и планшетного компьютера. Возможность ретрансляции данных обеспечивается через систему мобильной связи. Установлена сезонная динамика изменения температуры воздуха, рапы и грунтов, характеризующаяся увеличением в летний период и снижением в осенне-зимний во всех трех средах. Вариации температурного режима грунта, имеющего большой теплозапас, были выражены в меньшей степени, чем поверхностных слоев. Среднесуточная температура рапы на границе раздела воздух→вода летом превышала температуру воздуха. Полученные данные отражают характерные флуктуации термических процессов в соленом озере, обусловленные климатическими и сезонными факторами.

В настоящее время дистанционные методы мониторинга природных объектов приобретают все большее значение в связи с глобальными климатическими изменениями и нарастающим антропогенным воздействием. Гиперсоленые водоемы, к которым относятся эстуарии, приморские соленые озера, в отдаленные геологические эпохи бывшие частью моря и отделившиеся от него песчаными барьерами, внутренние материковые озера широко распространены в различных географических зонах, включая аридные области. Эти водоемы характеризуются циклическими флуктуациями физико-химических параметров, среди которых одним из самых значимых являются температура [1]. Температура воды определяет скорость протекания химических реакций в водоеме, состояние и функционирование биоты на всех уровнях ее биологической организации [2]. Для экосистем соленых озер характерны постоянные колебания физико-химических параметров под действием специфических гидрометеорологических, гидрогеологических и гидрохимических факторов. При этом температура в них имеет выраженные сезонные колебания, зависящие от температуры воздуха, но может меняться в течение дня, а также проявляется характерная температурная стратификация водных слоев. Взаимодействие абиотических и биотических факторов в этих водных экосистемах приводит к формированию в них уникальных донных отложений, которые являются природными лечебными ресурсами [3]. В настоящее время соленые озера испытывают интенсивную антропогенную нагрузку, которая приводит к крайне негативным последствиям для этих водных объектов, вплоть до их исчезновения, высыхания и распреснения [4, 5]. Эта тенденция отмечена исследователями во всем мире, в том числе и для крымских соленых водоемов.

Одним из наиболее крупных приморских соленых озер Крыма является Сакское озеро, в котором под воздействием климатических и биологических условий сформировалась специфическая экосистема, характеризующаяся наличием лечебных грунтов и рапы, интенсивно применяющихся в бальнеологии, косметологии и фармацевтике. Озеро разделено на несколько водоемов, из которых Восточный бассейн эксплуатируется для добычи лечебных грязей. В связи с этим актуальность исследования динамики температурного режима Сакского озера и, прежде всего, его Восточного бассейна определяется, с одной стороны, высокой эффективностью сакских грязей при лечении многих заболеваний, с другой — неблагоприятным антропогенным воздействием и большой изменчивостью режимных факторов, включая температурный [6]. Учитывая важное народно-хозяйственное значение гидроминеральных ресурсов Сакского озера, представляется важным и актуальным изучение сезонной динамики факторов, влияющих на физико-химические характеристики экосистемы водоема.

На этом основании целью настоящей работы явился анализ сезонной динамики температурных изменений воды и грунтов Восточного бассейна Сакского озера в 2022 году с помощью дистанционной телеметрической системы.

Материалы и методы исследования

Площадь водного зеркала Сакского озера составляет 1,27 км². Максимальные глубины 0,7-2,0 м зафиксированы в Восточном бассейне, в районе добычи лечебных грязей. Среднегодовой уровень

водоема – 1,02 м. Соленость рапы в Восточном бассейне в исследуемый период колебалась от 223 ‰ в весенне-зимний период до 273 ‰ в летний.

Пробы рапы отбирали ежемесячно в период 2022 г в контрольной точке Восточного бассейна Сакского озера. Температуру поверхностных вод измеряли непосредственно в водоеме с помощью термометра фирмы HANNA.

Телеметрическая измерительная система, установленная на границе грязевого пелоида включает распределенный датчик температуры (термопрофилемер) [7], который представляет из себя герметизированный термочувствительный кабель диаметром 4 мм и длиной 4,8 м в нержавеющей стальной защитной трубке диаметром 8 мм. Термопрофилемер установлен вертикально на границах разделов воздух-рапа-грунт на глубину 3 м в грязевых отложениях. Датчик состоит из 24 участков длиной по 20 см каждый. Погрешность измерения температуры на участке составляет менее 0,1 °C. Период временной дискретизации измерений всего профиля составляет 10 секунд. Изменения глубины и границы уровня водной поверхности имеют сезонный характер и колеблются в пределах 0,5 м. Обеспечение телеметрической регистрации и отображения данных осуществляется с помощью планшетного компьютера, а ретрансляция данных осуществляется через мобильную связь. Одновременно измерительные данные накапливаются в съемном заменяемом флэш-модуле памяти, который функционирует независимо от компьютерной системы.

Первичное место установки системы было определено исходя из технических и организационных возможностей работы системы контроля. Была выбрана точка размещения с характерными особенностями состава и глубины донных отложений на мосту вблизи штатного гидрометеопоста на границе грязевого пелоида.

Результаты и обсуждение

Результаты исследований показали, что температура воды в Восточном бассейне Сакского озера и температура воздуха последовательно повышались с апреля по июнь, достигали максимальных значений в летние месяцы, после чего снижались в зимне-весенний период, достигая минимума в марте (рисунок 1). Между показателями температуры воздуха и рапы установлена высокая корреляция ($r=0,95$).

Более детальные изменения в системе воздух→рапа→донные отложения в Восточном бассейне Сакского озера были получены с помощью термопрофилемера и представлены на рисунке 2. Как можно видеть, сезонные температурные колебания совпадают с динамикой, представленной на рисунке 1. Температура донных осадков варьирует в меньшей степени, убывает с глубиной. Следует отметить наличие большого теплозапаса донных отложений увеличивающегося с глубиной. Так на глубине 3 м отложений годовые изменения составляют менее 5 °C в диапазоне от 12 °C до 17 °C.

Следует отметить, что на поверхности раздела воздух→рапа среднесуточная температура рапы в летние месяцы была выше температуры воздуха.

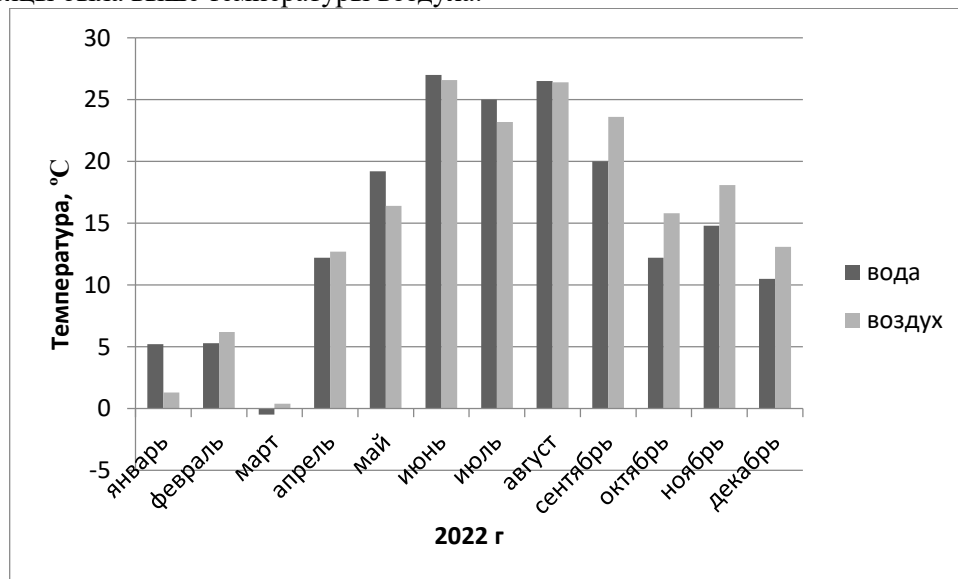


Рисунок 1. Изменение температуры рапы и воздуха в Восточном бассейне Сакского озера в 2022 году

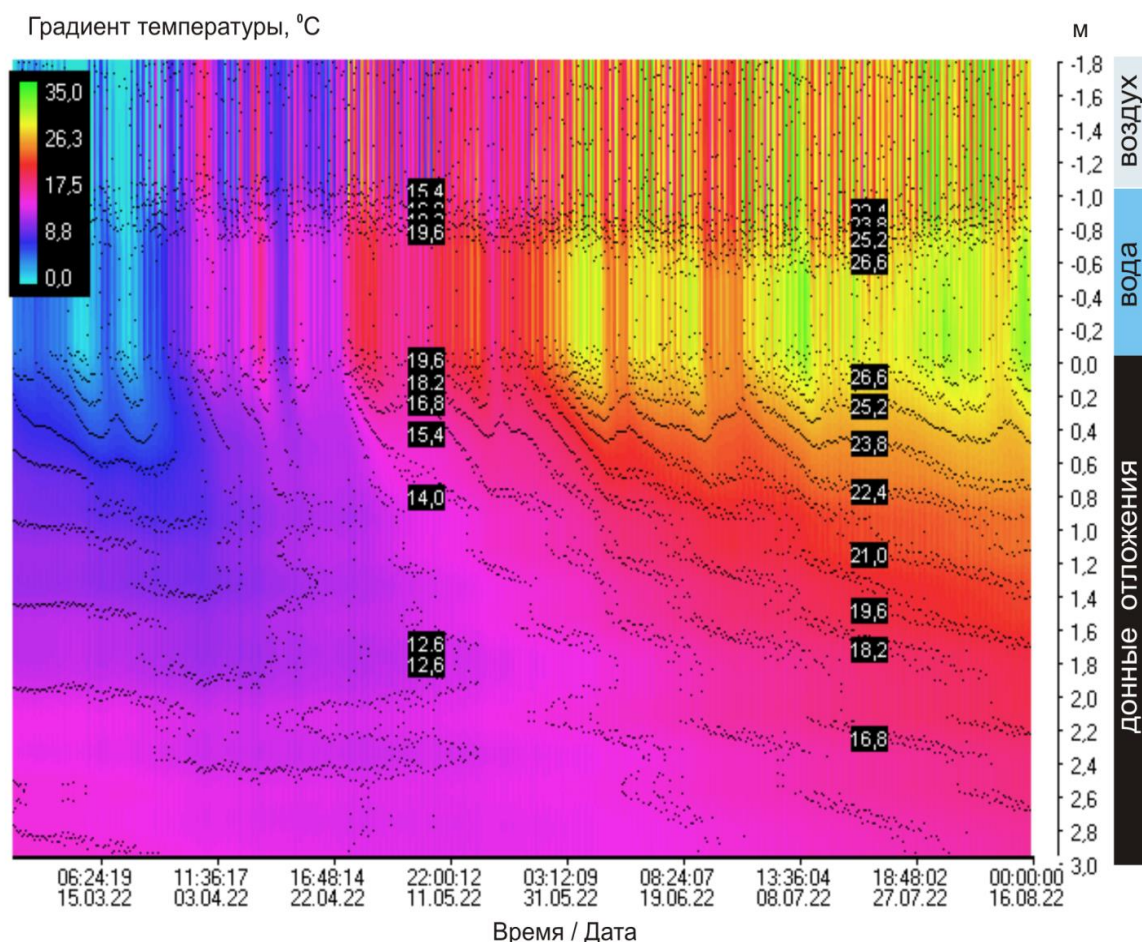


Рисунок 2. Сезонные изменения температуры вертикального профиля в системе воздух→рапа→донные отложения в Восточном бассейне Сакского озера в течение 200 дней 2022 года

Таким образом, результаты проведенных мониторинговых исследований позволили выявить характерную сезонную динамику изменения температуры воздуха и рапы в Восточном бассейне соленого Сакского озера и установить особенности температурных вариаций на границе разделов воздух→рапа→донные отложения с помощью примененной телеметрической системы в реальном времени. Гидрологический режим играет важную роль в функционировании водных экосистем и, прежде всего, тех биогеохимических процессов, которые в них происходят [8]. В связи с этим влияние климата и его региональных особенностей, уровень осадков и циркуляция грунтовых вод, питающих водный объект, а также антропогенная деятельность являются основными составляющими, которые определяют экологический статус внутренних водоемов [9]. Изучение механизмов этого влияния позволяет оптимизировать эксплуатацию водных ресурсов, их сохранение и защиту. Для этих целей в настоящее время широко применяются дистанционные методы исследования, в том числе с использованием спутников, позволяющие вести долговременный мониторинг внутренних водоемов, прежде всего по результатам картирования поверхности и соотнесения данных с климатическими изменениями в данном районе [10]. В то же время детальный анализ процессов и их взаимосвязь с климатическими и метеорологическими факторами, происходящих в экосистемах, возможен при применении описанной системы, которая позволила проследить суточную динамику изменения одного из важнейших параметров - температуры. При этом очевидно, что ее колебания связаны как с внешними факторами, так и с особенностями функционирования биоты, в частности, ее микробиологической составляющей. Кроме того, отмеченные повышенные значения температуры рапы по сравнению с температурой воздуха на границе раздела этих двух сред свидетельствуют о влиянии высокой теплоемкости плотной соленой среды в сочетании с грунтовым теплозапасом.

Работа выполнена по теме государственного задания МГИ РАН 0555-2021-0004 «Фундаментальные исследования океанологических процессов, определяющих состояние и

эволюцию морской среды под влиянием естественных и антропогенных факторов, на основе методов наблюдения и моделирования» (шифр «Океанологические процессы»)

Литература

1. Xing Z., Huang H., Li Y., Liu S., Wang D., Yuan Y., Zhao Z., Bu L. Management of sustainable ecological water levels of endorheic salt lakes in the Inner Mongolian Plateau of China based on eco-hydrological processes. Science of The Total Environment. 2022.V. 816, 151529.
2. Madzalan N.E.A., Misman1 D., Nordin I.N.A.M. Real time water quality monitoring in lakes with IOT application progress in engineering. //Application and Technology. 2022.V. 3 (1). P. 549-558
3. Котова И.К., Каюкова Е.П., Мордухай-Болтовская Л.В., Платонова Н.В., Котов С.Р. Закономерности формирования состава иловых грязей Мёртвого моря и соляных озёр Крыма // Вестник СПбГУ. Серия 7. 2015. № 2. С.85-100
4. Soudi1M., H. Ahmadi H., Yasi M., Hamidi S.A. Sustainable restoration of the Urmia Lake: History, threats, opportunities and challenges. //European Water. 2017. V.60. P. 341-347,.
5. Barani V., Poracrami M., Mehrbani B.F., Poracrami S. The Investigation of Lake Urmia drying trend and its Important Consequence on surrounding settlements. // Journal of Rural Research. 2017. 18 (3). P. 438-453.
6. Шибанов С.Э. Гигиеническая оценка грязевых месторождений Крыма и необходимость системы мониторинга их качества / С.Э.Шибанов / Материалы научно-практической конференции Ежегодные научные чтения врачей Евпаторийского курорта «Acta Eupatorica» г. Евпатория. Вестник физиотерапии и курортологии. 2018. № 21(1). С.131.
7. Gaisky, V.A. and Gaisky, P.V., 2001. Distributed Thermoprofilometers and their Capabilities in Oceanographic Investigations. Physical Oceanography, 11(6), pp. 543–577.
8. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Формирование химического состава вод озёр в условиях изменения окружающей среды. М.: Наука. 2010. 268 с.
9. Tweed S., Grace M., Leblanc M., Cartwright I., Smithyman D. The individual response of saline lakes to a severe drought panel // Science of The Total Environment. 2011. P. 3919-3933
10. Krause, C.E.; Newey, V.; Alger, M.J.; Lymburner, L. Mapping and Monitoring the Multi-Decadal Dynamics of Australia's Open Waterbodies Using Landsat. Remote Sens. 2021, 13, 1437.

MONITORING OF THE TEMPERATURE FLUCTUATIONS OF SALINE SAKI LAKE (CRIMEAN REPUBLIC)

Gaisky P.V.¹, Rudneva I.I.¹, Shaida V.G.², Shaida O.V.¹

¹Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, 229011 Russia

² LLC Ecoservice-A, Moscow, 107140 Russia

Saki Lake is one of the largest seaside salt lakes of Crimea on the southwestern coast of the Black Sea. Under the influence of climatic factors and biota, specific conditions have formed in the lake, changing during the year cycle. Seasonal dynamics of the air and brine temperature in the lake are studied using standard methods with the help thermometers, as well as using a telemetry system based on a distributed temperature sensor (thermoprofilemeter) installed at the boundary of the air→brine→bottom sediments. Thermoprofilemeter with a measuring base of 4.8 m was installed vertically to a depth of 3 m of mud bottom sediments. The distributed sampling of the sensor is 24 sections of 20 cm each. Changes in the water surface level boundary are seasonal in nature and range up to ±0,5 m. Telemetric recording and display of data is provided using an independent memory module and a tablet computer. The ability to relay data is provided through a mobile communication system. Seasonal dynamics of changes in air temperature, raps and soils has been established, characterized by an increase in summer and a decrease in autumn-winter in all three environments. Variations in the temperature regime of the soil having a large heat storage were expressed to a lesser extent than the surface layers. The average daily temperature of the brine in the boundary air→brine in the summer exceeded the air temperature. The obtained results demonstrated the peculiarities of the fluctuations of temperature processes in tested water body accompanied with the climate and seasonal factors.

ЭФИРЫ ФТАЛЕВОЙ КИСЛОТЫ В ВОДНОЙ СИСТЕМЕ РЕКИ СЕТУНЬ

к.б.н., в.н.с. Демин В.В., студ. Пименов О.С., к.б.н., доц. Завгородняя Ю.А.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва

Исследовано содержание диэфиров фталевой кислоты в воде, взвеси и донных отложениях реки Сетунь (г.Москва) в различные фазы водного режима. Наибольшая концентрация суммы фталатов (3-6г/кг) наблюдалась во взвешенном веществе реки. Преобладающим фталатом во всех пробах из водного объекта был ди-2-этилгексилфталат, его концентрация в воде в 10-15 раз возрастала в период летне-осенней межени, в 5 раз превышая ПДК. Более обогащены фталатами были пробы донных отложений, содержавшие в составе больше крупных гранулометрических фракций. Концентрация и состав фталевых эфиров в водной толще определялись локальными условиями поступления загрязняющих веществ от источников в русло реки.

Введение. В настоящее время в связи с ростом уровня загрязнения вода с каждым днем становится все более ценным ресурсом. Все больше водных систем находятся под антропогенным воздействием, что негативно сказывается на их экологическом состоянии и продуктивности населяющих организмов. Наибольшую опасность в этом аспекте представляют ксенобиотики - органические соединения, которые были созданы искусственно и ранее не встречались в окружающей среде.

Фталаты – сложные диэфиры фталевой кислоты, используются преимущественно как пластификаторы при производстве различной полимерной продукции, в том числе, товаров народного потребления [14]. С материалом вмещающего полимера они не связаны химически, поэтому легко выщелачиваются из промышленных продуктов, контактирующих с окружающей средой, и попадают в атмосферу, гидросферу, донные отложения и почву [12]. Одной из главных особенностей фталевых эфиров, как поллютантов, является их глобальное распространение, поэтому Европейским союзом они отнесены к приоритетным загрязняющим веществам, для которых рекомендовано проведение гигиенического и экологического мониторинга [11].

В водных системах основными процессами, определяющими перераспределение фталевых эфиров, являются физическое испарение и миграция, в том числе в сорбированном состоянии. К основным процессам разрушения фталатов в водоемах относят биodeградацию, фотолиз и гидролиз [11]. На интенсивность этих процессов может повлиять сорбция эфиров на присутствующих в воде органоминеральных и минеральных взвесах, связывание с коллоидами и водорастворимым органическим веществом, биоаккумуляция и накопление в донных отложениях [17,18].

Комплексный подход к экологическим исследованиям, предполагающий определение динамики содержания фталатов в различных компонентах водных систем, расположенных в пределах городских территорий, является ключевым для улучшения качества мониторинга этой группы ксенобиотиков, а также позволяет более точно оценивать гигиенический риск фталатов, проявляющих канцерогенную, тератогенную, аллергенную и мутагенную активность [6,7]. Целью данного исследования была комплексная оценка содержания и состава эфиров фталевой кислоты в системе «вода–взвешенные вещества–донные отложения» реки Сетунь в различные фазы водного режима.

Объекты и методы. Река Сетунь (правый приток р.Москвы) полностью протекает на территории г.Москвы и имеет открытое русло, пойму и часть берегов естественного происхождения [9]. По данным Доклада о состоянии окружающей среды за 2018 год [5], Сетунь охарактеризована, как слабозагрязненная, превышение норматива наблюдалось только по содержанию взвешенных веществ. Основные пути поступления в реку фталатов – поверхностный сток с прилегающих территорий и с автомагистралей, которые пересекают русло, точечные сбросы сточных вод из ливневых коллекторов, а также бытовой и строительный мусор. В местах сбросов возможно локальное накопление поллютантов в донных отложениях, которые становятся источником вторичного загрязнения водной толщи за счет повышения содержания фталевых эфиров в твердом речном стоке.

Для проведения исследований были выбраны 4 точки в русле реки, расположенные в местах пересечения ее крупными транспортными магистралями. Первая точка (Т1) расположена при пересечении р.Сетунь Вяземской улицей. Поступление фталатов в русловую часть здесь происходит в составе организованного сброса стоков с дорожного полотна и близлежащего ГСК. Вторая точка (Т2) расположена рядом с Рябиновой улицей. На этой точке кроме смывов с магистрали происходит организованный сброс в реку сточных вод с очистного сооружения камерного типа. Точка три (Т3) расположена на пересечении р.Сетунь Аминьевским шоссе. Здесь было зафиксировано наличие наибольшего количества потенциальных источников фталатов, в том числе в виде стоков с территории крупного строительства. Выше по течению в Сетунь впадает река Натошенка, поэтому в летний меженный период были также взяты пробы до впадения этого притока (Т3₁) и ниже по течению (Т3₂).

Точка четыре (Т4) расположена в устье реки Сетунь перед впадением в реку Москва. Источником фталатов, кроме уже названных, на всех точках, был бытовой мусор в прибрежной зоне и русле реки.

Пробы на точках отбирали в течение 2019 года в весеннее половодье (апрель), в летне-осеннюю межень (июнь), в зимнюю межень (декабрь). Речную воду отбирали из верхнего слоя (0-30см) в подготовленные стеклянные бутылки из темного стекла пробоотборником со штангой и металлическим подвесным стаканом [3]. Донные отложения (ДО) отбирали в стеклянные герметичные контейнеры в 3 местах по створу водотока, из полученных точечных проб составляли среднюю [2].

Для отделения взвешенных веществ (взвеси) в день отбора производилась фильтрация воды через предварительно прокаленные и доведенные до постоянного веса кварцевые фильтры с диаметром пор 0,45мкм. Фильтры высушивали и взвешивали для определения содержания взвешенных веществ. В фильтрате определяли рН, удельную электропроводность, содержание водорастворимого углерода. Донные отложения высушивали до воздушно-сухого состояния, гомогенизировали и определяли гранулометрический состав методом сухого просеивания [4].

Фталевые эфиры экстрагировали из проб воды хлороформом в круглодонных стеклянных флаконах путем встряхивания на орбитальном шейкере Multi Reax (Heidolph). Экстракцию фталатов из проб донных отложений и фильтров со взвесью проводили с использованием системы ускоренной автоматической экстракции субкритическими растворителями ASE200 (Dionex). Экстракты концентрировали и очищали от мешающих компонентов на адсорбционной колонке. Качественную идентификацию и количественное определение эфиров фталевой кислоты проводили методом газожидкостной хроматографии-масс-спектрометрии на хроматографе Agilent 6890N с квадрупольным масс-селективным детектором MSD5973N (Agilent Technologies).

Результаты и обсуждение. Содержанию водорастворимого органического углерода в исследованных пробах варьировало от 5,4 до 8,0мг/л в различные фазы водного режима и достоверно не различалось для точек опробования. Наибольшие значения электропроводности (до 1400мкСм/см) наблюдались в весеннее половодье, что связано со смывом с прилегающих территорий солей, входящих в состав противогололедных реагентов. Значения рН в летний период достигали 8,3 и были несколько ниже во время весеннего половодья и зимней межени (7,6-7,8).

Таблица 1.

Содержание взвеси в воде и состав донных отложений р.Сетунь.

Фаза водного режима	Весеннее половодье				Летне-осенняя межень						Зимняя межень			
Точка	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3 ₁	T3	T3 ₂	T4	T1	T2	T3	T4
Взвесь, мг/л	28	20	82	32	40	44	34	23	27	43	37	27	36	53
Фракция ДО <0,1мм, %	-	-	-	-	1	6	35	3	3	6	13	55	6	5
Фракция ДО >0,5мм, %	-	-	-	-	40	1	1	9	9	47	38	1	9	29

Содержание взвешенных веществ в воде р.Сетунь для точек опробования в разные фазы водного режима составляло 20-80мг/л (таблица 1). Количество взвеси в городской реке определяется не только уровнем водности и гидрологическим режимом, но преимущественно режимом сбросов из коллекторов, имеющих локальное действие. Так, наиболее высокое содержание взвешенных веществ наблюдалось на Т3 в период весеннего половодья (таблица 1), что может быть связано с поступлением дополнительного загрязнения со стоками крупного строительства. По данным фракционного анализа в донных отложениях р.Сетунь наблюдается повышенное содержание крупной гранулометрической фракции (>0,5мм) на точках 1 и 4.

В пробах воды были идентифицированы эфиры фталевой кислоты: диэтилфталат (ДЭФ), дибутилфталат (ДБФ), диизобутилфталат (ДиБФ), ди-2-этилгексилфталат (ДЭГФ), бензилбутилфталат (ББФ), ди-*n*-октилфталат (ДнОФ). Наибольшее количество различных конгенов фталатов было обнаружено в устьевой части реки (Т4).

Для всех фаз водного режима на точках 1, 2 и в устьевой части основной вклад в загрязнение воды фталатами вносили ДБФ и ДЭГФ, что согласуется с данными других работ [13,15]. В большинстве исследованных проб воды среди конгенов фталатов наиболее высоким было содержание ДЭГФ (более 40% от суммарного содержания всех эфиров), что может быть связано с высокой концентрацией взвешенных веществ в р.Сетуни (таблица 1) к которым ДЭГФ, имеет большее

средство [15]. Содержание ДЭГФ резко (в 10-15 раз) возрастало в летне-осеннюю межень при увеличении температуры воды и повышении растворимости фталата, связанного с твердой взвесью. В этот период наблюдалось превышение ПДК для ДЭГФ в 5 раз [1]. В то же время на ТЗ в половодье на порядок выше было содержание ДБФ и ДиБФ, что может быть связано с привносом фталатов со стоками строительной площадки за счет вымывания из используемых при строительстве материалов (уплотнителей, изоляций, гидропропиток, монтажных пен) и со слабой самоочисткой воды при низкой температуре [16].

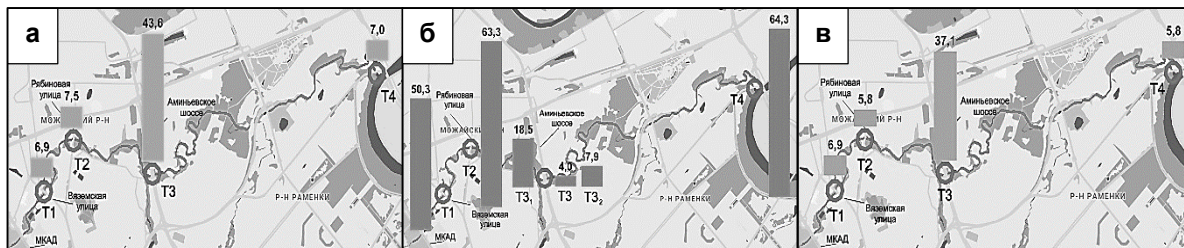


Рисунок 1. Суммарное содержание (мкг/л) эфиров фталевой кислоты в воде р.Сетунь в фазы весеннего половодья (а), летне-осенней межени (б), зимней межени (в).

Для суммы четырех доминирующих конгенов фталатов наиболее высокие концентрации (50-64мкг/л) наблюдались во время летне-осенней межени (рисунок 1), что связано с понижением уровня воды при одновременном привносе фталатов с поверхностным стоком [13]. Динамика значений, полученных для ТЗ, отличается от остальных данных, что связано, с одной стороны, с присутствием особого источника загрязнения, влияющего на режим поступления и состав стоков, с другой – с разбавляющим влиянием притока, которое особенно заметно проявляется в период наименьшей водности реки.

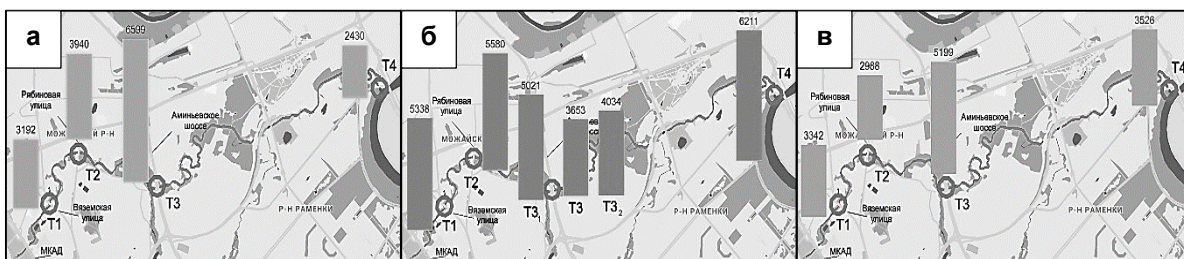


Рисунок 2. Суммарное содержание (мкг/кг) эфиров фталевой кислоты во взвеси р.Сетунь в фазы весеннего половодья (а), летне-осенней межени (б), зимней межени (в).

Полученные высокие значения (3-6г/кг) по суммарному содержанию эфиров фталевой кислоты во взвеси р.Сетунь сходны с данными, приводимыми европейскими и китайскими исследователями для водоемов городских и промышленных зон [13,15]. В фазу летне-осенней межени происходит заметное обогащение взвешенных веществ эфирами фталевой кислоты (рисунок 2), что связано с повышением загрязненности стоков, а также с повышенным содержанием фталатов в водной системе в целом [13]. В составе фталевых эфиров во взвешенных веществах наблюдается преобладание конгенов, имеющих более высокий молекулярный вес - более 80% от общего содержания составляют ДЭГФ, ДнОФ, а также фталаты с длиной алкильных цепей более 8 атомов углерода. Высокий коэффициент «октанол-вода» для таких соединений определяет их повышенное сродство к твердым минеральным и органоминеральным матрицам [10].

Суммарное содержание эфиров фталевой кислоты в донных отложениях, отобранных в разные сезоны, варьировало от 2 до 6г/кг сухого веса (рисунок 3) при преобладании в составе высокомолекулярных фталатов - ДЭГФ, ДнОФ и конгенов с числом углеродных атомов в алкильных цепях >8. Более обогащенными фталатами оказались пробы донных отложений, отобранные на точках 1 и 4, содержащие в составе больше крупных гранулометрических фракций (>0,5мм). Аналогичные данные по влиянию фракционного состава донных отложений водоемов на уровень аккумуляции в них фталевых эфиров приводятся в работах некоторых авторов [8,15].

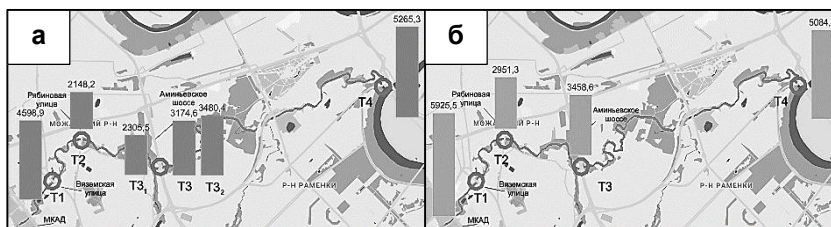


Рисунок 3. Суммарное содержание (мкг/кг) эфиров фталевой кислоты в донных отложениях р.Сетунь в фазы летне-осенней межени (а), зимней межени (б).

Заключение. Результаты, полученные в процессе исследования распределения эфиров фталевой кислоты между компонентами водной системы реки Сетунь, согласуются с большинством литературных данных по водоемам и водотокам городских и промышленных территорий. Так, наибольшая концентрация фталатов приходилась на взвешенное вещество реки, что может быть связано с большей площадью доступной для сорбции поверхности взвеси по сравнению с материалом донных отложений. Наблюдалась выраженная сезонная динамика, более значимая для состава и концентрации растворенных в воде фталатов и менее значимая для содержания фталатов во взвеси и донных отложениях.

Преобладающим конгенером фталатов во всех пробах из водного объекта был ДЭГФ. Особенно высоким было его содержания в компонентах водной системы в фазу летне-осенней межени, что связано с увеличением количества источников загрязнения, с большей устойчивостью этого эфира к биodeградации и его низкой летучестью [11]. При повышении температуры воды летом увеличивалась растворимость ДЭГФ, и его содержание в воде превышало нормативный показатель. Источником вторичного загрязнения воды ДЭГФ могут становиться частицы речной взвеси и верхний слой донных отложений.

Содержание и состав фталевых эфиров в водной толще в большей мере, чем в донных отложениях, определяются локальными условиями поступления загрязняющих веществ от источников в русло реки Сетунь.

Литература

1. ГН 2.1.5.2280-07. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М.: Роспотребнадзор. 2008.
2. ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. М.: ИПК Издательство стандартов. 2002.
3. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ. 2013.
4. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ. 2015.
5. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2018 году» М.: ДПиООС; НИиПИ ИГСП. 2019. 247 с.
6. Дучко М.А., Русских И.В., Гулая Е.В. Кислородсодержащие соединения в воде и донных отложениях реки Томь // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти ПН Чирвинского. 2013. №16. С.329-334.
7. Кадычагов П.Б., Русских И.В., Белицкая Е.А. Особенности распределения органических примесей в природных водах и донных осадках бассейна реки Томи // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. №7. С.35-40.
8. Усков Т.Н. Содержание фталатов в воде Новосибирского водохранилища в разные гидрологические периоды // Вода: химия и экология. 2013. №3. С.100-105.
9. Черных О.Н. Типизированные приемы экологического восстановления малых рек Москвы (на примере р.Сетунь) // Природообустройство. 2015. №3.
10. Cousins I., Mackay D., Parkerton T. Physical-chemical properties and evaluative fate modelling of phthalate esters // J. Series Anthropogenic Compounds. 2002. P.57-84.
11. Gao D.W., Wen Z.D. Phthalate esters in the environment: A critical review of their occurrence, biodegradation, and removal during wastewater treatment processes // J. Science of the Total Environment. 2016. V.541. P.986-1001.

12. Heise S., Litz N. Phthalates. German Federal Environmental Agency. 2004.
13. Li R., Liang J., Duan H., Gong Z. Spatial distribution and seasonal variation of phthalate esters in the Jiulong River estuary, Southeast China // Marine pollution bulletin. 2017. V.122. P.38-46.
14. Liu F.F., Liu G.Z., Zhu Z.L., Wang S.C., Zhao F.F. Interactions between microplastics and phthalate esters as affected by microplastics characteristics and solution chemistry // Chemosphere. 2019. V.214. P.688-694.
15. Net S. et al. Distribution of phthalates, pesticides and drug residues in the dissolved, particulate and sedimentary phases from transboundary rivers (France–Belgium) // Science of the total environment. 2015. V.521. P.152-159.
16. Staples C.A. The environmental fate of phthalate esters: a literature review // Chemosphere. 1997. V.35. N4. P.667-749.
17. Wang C., Shao X., Wu X. Sorption of phthalate esters on surficial sediment of the Yangtze River, China // J. Advanced Materials Research. 2014. V.1073-1076. P.263-267.
18. Wen Z.D., Wu W.M., Ren N.Q., Gao D.W. Synergistic effect using vermiculite as media with a bacterial biofilm of *Arthrobacter* sp. for biodegradation of di-(2-ethylhexyl) phthalate // J. of Hazardous Materials. 2016. V.304. P.118-125.

PHTHALIC ACID ESTERS IN AQUATIC SYSTEM OF THE SETUN RIVER

Demin V.V., Pimenov O.S., Zavgorodnyaya Yu.A.
Lomonosov Moscow State University, Moscow

The content of phthalate esters in water, suspended particulate matter and bottom sediments of the Setun River (Moscow) during different phases of the water regime was studied. The highest total concentration of phthalate esters (3-6 g/kg) was observed in the suspended matter of the river. The predominant congener in all samples from the water layer was di-(2-ethylhexyl) phthalate, its concentration in water increased 10-15 times during the summer-autumn low water season, five times exceeding the permission level. Samples of the bottom sediments containing more large particle size fractions were more enriched with phthalates. The concentration and composition of phthalic esters in the water layer were determined by local conditions for the inflow of pollutants from sources into the river bed.

АНАЛИЗ ФОРМ МИГРАЦИИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В Р.СЕТУНИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ 2019-2021 ГГ.

к.г.н., зав.лаб. Ерина О.Н.¹, инж. Терешина М.А.¹, студ. Борисычева М.С.¹, к.г.н., с.н.с.
Соколов Д.И.¹, д.г.н., доц. Чалов С.Р.¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический
факультет, Москва, Россия

В статье рассмотрены результаты анализа форм транспорта потенциально токсичных металлов и металлоидов в городской р.Сетуни по данным регулярного ежемесячного мониторинга, проведенного в 2019-2021 гг. Показано, что рассмотренные металлы мигрируют в р.Сетуни в исключительно нерастворенной и преимущественно нерастворенной формах. При этом для большинства металлов обнаруживается большая доля растворенных форм в общем переносе по сравнению с региональным фоном. Вероятно, такие различия связаны с воздействием сбросов промышленных и ливневых сточных вод, обогащенных химическими веществами.

Введение

Тяжёлые металлы относятся к одним из основных загрязняющих веществ природных водных систем. Их повышенное содержание в природных водах оказывает отрицательное влияние, как на качество поверхностных вод, так и на водные экосистемы, так как многие тяжёлые металлы токсичны и даже небольшое увеличение их концентрации в воде может привести к значительному урону. Увеличение их концентрации в воде часто связано с антропогенным загрязнением, а наибольшее влияние деятельности человека как правило характерно для урбанизированных территорий – в городах, где сконцентрировано множество разных источников загрязнения вод: промышленные предприятия, автотранспорт, поступление сточных вод коммунально-бытовой и ливневой канализации, атмосферное осаждение и множество других путей загрязнения вод.

На особенности и формы миграции тяжелых металлов в водной среде влияет комплекс различных факторов, включая гидрологический режим реки [3], изменение кислотно-щелочных и

окислительно-восстановительных условий, которые могут приводить к интенсификации процессов адсорбции и коагуляции, комплексообразованию и т.д [4]. В городской среде уровень воздействия этих факторов значительно отличается от естественных условий, при этом до сегодняшнего дня довольно плохо известно, насколько, в первую очередь из-за отсутствия на территории РФ регулярного мониторинга форм транспорта тяжелых металлов в аквальных ландшафтах.

Цель работы – по результатам мониторинга речной воды и взвешенных наносов городской р. Сетунь определить основные формы водной миграции потенциально токсичных элементов и выявить сезонные различия в зависимости от фазы водности года.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования нами выбрана р.Сетунь, водосбор которой (190 км²) полностью расположен в черте г.Москвы. Положение реки обуславливает комплексное воздействие на ее химический сток, формирующееся от целого ряда источников загрязнения – сосредоточенных и диффузных [1,2]. В 2019 году в устье р.Сетуни был организован гидролого-геохимический мониторинг, включающий в том числе наблюдения за транспортом тяжелых металлов и металлоидов в воде и в составе взвешенных наносов, продолжающийся уже пятый год и формирующий уникальный массив данных за транспортом поллютантов в урбанизированном водосборе.

В основу настоящей работы легли материалы наблюдений за содержанием тяжелых металлов и металлоидов в воде и взвешенных наносах в устье р.Сетунь в период с 2019 по 2021 гг. Длина собранного ряда данных составила 1480 концентраций за 74 даты. Отбор проб, в которых кроме содержания тяжелых металлов определялся гранулометрический состав взвеси и общая мутность, проводился ежемесячно (в периоды прохождения половодья и паводков – ежедневно). Параллельно для выделения многоводных и маловодных периодов проводились гидрологические наблюдения – регистрация уровня воды при помощи логгеров, который в дальнейшем при помощи кривой $Q=f(H)$ пересчитывался в расход воды.

После отбора проб воды проводилось их фильтрование через фильтры Millipore с диаметром пор 0,45 мкм, в результате которого отбиралась проба фильтрованной воды, в которой определялось содержание тяжёлых металлов в растворенной форме, а также фильтр со взвесью, в результате анализа которого получали интегральное содержание тяжелых металлов во взвешенной форме.

Гранулометрический состав интегральной пробы взвешенных наносов определялся на лазерном гранулометре Fritsch Analysette 22. Содержания тяжелых металлов и металлоидов в воде и интегральных пробах взвешенных наносов проводилось методами масс-спектрометрии и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS и ICP-AES) было определено содержание микроэлементов (анализ проводился в сертифицированной лаборатории ВНИИ минерального сырья им. Н.М. Федоровского).

Для анализа в данной работе были выбраны такие тяжёлые металлы, как алюминий, ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь, цинк, мышьяк, стронций, циркон, молибден, кадмий, олово, сурьма, цезий, вольфрам, свинец и уран. Выбор данных элементов обоснован их потенциальной токсичностью как для человека, так и для водной экосистемы.

Полученные концентрации тяжёлых металлов в растворённой и во взвешенной форме анализировались при помощи DS-анализа. DS-коэффициент (Dissolved - растворенные формы; Suspended – взвешенные) – это отношение содержания элемента во фракции больше 0,45 мкм к его суммарной концентрации в потоке.

$$DS = \frac{SSC * c_{x(PM>0,45)} * 10^{-3}}{(SSC * c_{x(PM>0,45)} * 10^{-3}) + Vc_{x(PM0,45)}}$$

Результаты и обсуждение

Все исследуемые тяжёлые металлы в реке Сетуни можно разделить на четыре группы, которые мигрируют исключительно в нерастворённой, преимущественно нерастворённой, преимущественно растворённой и исключительно растворённой формах (таблица). Большая часть элементов содержится в воде реки Сетуни в нерастворённой форме. Так, по результатам DS-анализа алюминий и железо почти полностью находятся в составе взвешенных наносов (рисунок). Марганец и мышьяк занимают промежуточную позицию и с равной вероятностью могут находиться как во взвешенной, так и в растворённой форме. Исключительно в растворённой форме мигрируют уран, молибден и стронций (рисунок).

Таблица. Типы содержания тяжёлых металлов в растворенной и нерастворённой формах в устье реки Сетуни

> 75%	50-75%	25-50 %	< 25%
Исключительно нерастворённые	Преимущественно нерастворённые	Преимущественно растворённые	Исключительно растворённые
Al, Fe, Zr, Sn, Cs, V, Cr	Ni, W, Co, Pb, Cd, Cu, Zn, Mn	As, Sb	U, Mo, Sr

Наименьшие значения DS-коэффициентов вариации концентраций за рассматриваемый период характерны для железа, алюминия и циркона (0,004, 0,01 и 0,02 соответственно). Это свидетельствует о том, что данные элементы всегда перемещаются во взвешенной форме вне зависимости от фазы водного режима, и в растворённой форме их содержится на несколько порядков меньше. Наибольшие значения коэффициента вариации отмечается для стронция, урана и молибдена (1,32, 1,17 и 1,09 соответственно), что говорит о возможности этих элементов перемещаться как в растворённой форме, так и во взвешенной.

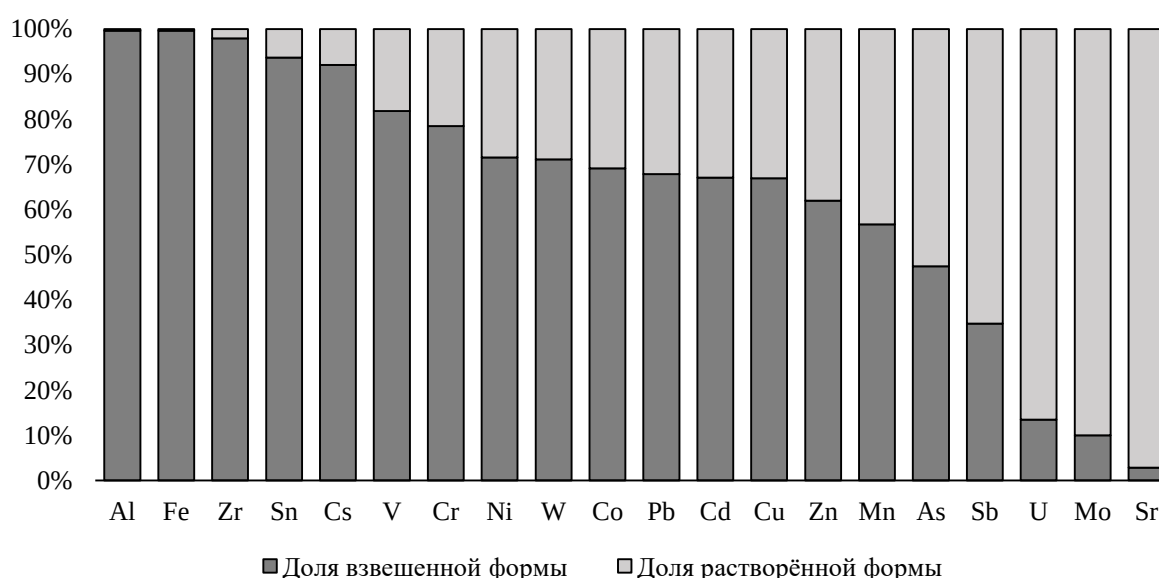


Рисунок. Среднее распределение тяжёлых металлов между растворённой и взвешенной формой в устье реки Сетуни

По сравнению с распределением между растворённой и взвешенной формами в реке Сетуни в реке Москве выше Можайского гидроузла, чей элементный состав принят в данной работе за условный региональный фон, гораздо больше элементов мигрирует в исключительно взвешенной форме (так, преимущественно в составе взвеси обнаруживаются только уран и стронций, когда в водах Сетуни данные элементы находятся преимущественно в растворённой форме. Схожесть прослеживается только для трёх элементов: алюминия, железа и цезия. Все выше названные тяжёлые металлы как в городской реке Сетуни, так и в природных условиях почти полностью находятся во взвешенном состоянии, что обусловлено их физико-химическими свойствами.

Заключение

Полученные в рамках настоящего исследования результаты подтверждают существующее представление о преимущественном транспорте потенциально токсичных элементов речными потоками в составе взвешенных наносов. Однако, городская среда способствует более активному переносу ТММ в растворенной форме по сравнению с ненарушенными водотоками, преимущественно за счет поступления загрязнителей с ливневыми стоками и промышленными сточными водами [5]. При этом растворенные формы являются более токсичными для водных организмов, обитающих в городских реках, и поэтому контролю растворенных форм в рамках государственных надзорных мероприятий уделяется больше внимания. Поллютанты во взвешенной форме при этом в зависимости от гидродинамических условий могут выноситься в р.Москву либо осаждаться, формируя донные

отложения и вторичное загрязнение реки. Также следует отметить, что отсутствие ярко выраженных различий в формах миграции большинства рассматриваемых элементов между многоводной и маловодной фазами водного режима может свидетельствовать о преобладании антропогенного поступления этих веществ в водные объекты.

Благодарности. Полевые и лабораторные исследования выполнены за счет средств Российского научного фонда (проект № 19-77-30004), анализ и интерпретация данных – при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение 075-15-2021-574).

Литература

1. Лебедева Е. В., Михалёв Д. В. Эколого-геоморфологические последствия техногенного воздействия на малые реки юго-запада Москвы //Геоморфология. 2011. №. 4. С. 22-32.
2. Маркин И. М. Экологическое состояние качества воды реки Сетунь //Наука и образование сегодня. 2016. №. 6 (7). С. 114-119.
3. Chalov, S., Platonov, V., Erina, O., Moreido, V., Samokhin, M., Sokolov, D., Tereshina, M., Yarinich, Y., and Kasimov, N.: Rainstorms impacts on water, sediment, and trace elements loads in an urbanized catchment within Moscow city: case study of summer 2020 and 2021, Theor. Appl. Climatol., 151, 871–889, <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04298-9>, 2023.
4. Taylor K.G., Owens P.N. Sediments in urban river basins: a review of sediment–contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities // Journal of Soils and Sediments. 2009. Vol. 9. Pp. 281-303. DOI: 10.1007/s11368-009-0103-z
5. Tereshina M. et al. Longitudinal patterns of different pollutant concentrations in the Setun River //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – Т. 834. – №. 1. – С. 012051.

MIGRATION OF POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS IN THE SETUN RIVER IN 2019-2021

O.Erina¹, M. Tereshina¹, M. Borisychева¹, D.Sokolov¹, S.Chalov¹

1 - Faculty of Geography, Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

This paper considers the results of the analysis of the transport forms of potentially toxic metals and metalloids in the urban Setun River according to the data of regular monthly monitoring performed in 2019-2021. We show that studied metals migrate in the Setun River in exceptionally particulate and predominantly particulate forms. At the same time, a larger contribution of dissolved forms to the total transport is detected for the most metals compared to the regional baseline. Probably, such differences are associated with the impact of industrial and storm water discharges enriched with chemical substances in urban areas.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ПРИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОМ ФРАКЦИОНИРОВАНИИ НА СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В МИКРОЧАСТИЦАХ ПОЧВ И ДОРОЖНОЙ ПЫЛИ

Енчилик П.Р., Семенков И.Н., Безбердая Л.А., Васильчук Дж.Ю., Касимов Н.С.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет

Свойствам и элементному составу тонких фракций почв и дорожной пыли размером <10 мкм уделяют особое внимание, поскольку они являются основными носителями загрязнителей. Работа посвящена оценке влияния ультразвукового диспергирования на содержание широкой группы химических элементов в гранулометрических фракциях диаметром <1 мкм (PM1) и 1-10 мкм (PM1-10) почв и дорожной пыли. Гранулометрические фракции из гумусового горизонта фоновых дерново-подзолистых почв Центрально-Лесного заповедника, реплантозема Москвы, чернозема Крыма и дорожной пыли Севастополя выделены без использования ультразвука перед центрифугированием, с однократным озвучиванием перед первым центрифугированием, с озвучиванием перед каждым центрифугированием. Однократное озвучивание образцов гумусовых горизонтов фоновой дерново-подзолистой почвы и реплантозема статистически значимо увеличило содержание большинства элементов во фракции PM1 при отсутствии дополнительного эффекта в случае многократного озвучивания и отсутствии значимого влияния вариантов используемой пробоподготовки на содержание элементов во фракции PM1-10. Однократное озвучивание образцов чернозема и дорожной пыли Севастополя не влияло на выход элементов во фракциях PM1 и PM1-10, а многократное озвучивание снизило концентрацию некоторых элементов во фракции PM1 из-за чрезмерного разрушения минеральных агрегатов, обедненных элементами.

Введение

Почвы и дорожная пыль как многофазные, гетерогенные и полидисперсные системы состоят из фракций разных размерностей, которые объединяются в микроагрегаты [6]. Дорожная пыль формируется в результате воздействия промышленности и автотранспорта (эмиссии выхлопных газов, истирания шин и тормозных колодок, разрушения дорожного покрытия), а также эрозии и дефляции почв [7, 11]. Изучению микрочастиц уделяется большое внимание, так как они накапливают многие загрязняющие вещества. Особый интерес вызывают тонкие фракции почв и дорожной пыли – PM1 и PM1-10 (PM – аббревиатура “particulate matter”, цифра – максимальный диаметр частиц в микрометрах), которые могут быть угрозой для здоровья человека [10, 12].

Для выделения фракций необходимого размера проводится дезагрегация твердой фазы. Чаще всего для этого применяют ультразвуковое диспергирование, благодаря которому исключается влияние человеческого фактора при пробоподготовке и можно оценить силу и время оказываемого воздействия. Однако, до сих пор слабо изучено влияние ультразвука на гранулометрический и химический состав получаемых образцов. Так, например, некорректные параметры озвучивания могут привести к чрезмерной или, наоборот, неполной диспергации агрегатов [5], в результате чего будет меняться доля более мелких частиц в пробе и, соответственно, концентрации в них химических элементов.

Цель работы состояла в изучении химического состава частиц PM1 и PM1-10, выделенных из почв и дорожной пыли южнотаежных и степных ландшафтов с помощью центрифуги при различных вариантах применения ультразвуковой диспергации.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования из коллекции образцов кафедры геохимии ландшафтов и географии почв выбраны четыре пробы: гумусовый горизонт дерново-подзолистой почвы Центрально-Лесного заповедника (ЦЛЗ) и чернозема Крыма, поверхностный горизонт реплантозема Москвы и дорожная пыль Севастополя (таблица 1).

Перед центрифугированием каждый образец растирали в фарфоровой ступке резиновым пестиком до однородного состояния и исчезновения комков. Для изучения влияния ультразвука на состав получаемой размерной фракции микроагрегатов каждую пробу диспергировали тремя способами в двукратной повторности: 1 – без применения ультразвука перед центрифугированием; 2 – с однократным воздействием ультразвука в течение 2 минут перед первым центрифугированием для выделения фракций PM1 и PM1-10; 3 – с многократным воздействием ультразвука в течение 2 минут перед каждым запуском центрифуги. Фракции PM1 и PM1-10 выделены на центрифуге «ОС-6МЦ» (ДАСТАН, Киргизия) с горизонтальным типом ротора. Время и скорость центрифугирования рассчитывали в программе «Centriset» [9].

Таблица 1. Характеристики исследованных образцов

Проба	Объект опробования	Координаты места отбора	Растительность	Материнская порода
Горизонт АУ	Дерново-подзолистые почвы ЦЛЗ, Тверская область	56°27'48,7''N 32°57'45''E	Елово-широколиственный кустарниково-разнотравный лес	Покровные суглинки, подстилаемые на 90–120 см моренными отложениями с присутствием карбонатов
Горизонт РАТ	Реплантозем в бассейне р. Сетунь (юго-запад Москвы)	55°41'15''N 37°27'59''E	Газон из трав семейства Злаковые, окруженный	Грунт (покровный суглинок), перемещенный с мест природного залегания

			посадками Ясеня обыкновенного	
Горизонт АУ	Чернозем текстурно- карбонатный; 2 км к северо-востоку от Севастополя	44°40'17,7''N, 33°37'20,59''E	Дубрава злаково- разнотравная	Элюво-делювий известняков
Дорожная пыль	Малая дорога (ул. Лощинная) восточной части Севастополя в пределах частной жилой застройки	44°36'33,34''N, 33°36'56,33''E	Отсутствует	Элюво-делювий известняков, асфальт

После завершения центрифугирования супернатант (фракцию РМ1) сливали в отдельный сосуд. Операцию повторяли до полного просветления супернатанта в стакане. После полного выделения частиц РМ1 аналогичным методом извлекали фракцию РМ1-10. Полученные суспензии с фракциями РМ1 и РМ1-10 фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм (EMD Millipore, США). В фильтрах с фракциями РМ1 и РМ1-10 почв и дорожной пыли определяли содержание Li, Na, Mg, Al, P, S, K, Ca, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Cd, Sn, Sb, La, W, Pb, Bi, Th в лаборатории ВНИИ минерального сырья им. Н.М. Федоровского с помощью системы Elan-6100 ICP-MS System (масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой PerkinElmer Inc., США) и Optima-4300 DV ICP-AES System (атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно связанной плазмой PerkinElmer Inc., США).

В Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ в валовых (исходных) образцах потенциометрическим методом измеряли величину рН почв и дорожной пыли рН-метром «ЭКСПЕРТ-рН» (Россия) и электропроводность (ЕС) кондуктометром «SevenEasy S30» (MettlerToledo, Швейцария). Содержание органического углерода (C_{орг}) почв и дорожной пыли определяли методом И.В. Тюрина с титриметрическим окончанием. Гранулометрический состав валовых образцов проанализирован на лазерном гранулометре «Analysette 22 comfort» (Fritsch, Германия).

Различие элементного состава гранулометрических фракций при разных способах пробоподготовки оценено парным непараметрическим тестом Вилкоксона в программе STATISTICA 10 по всей выборке элементов с использованием в качестве порогового значения для $p=0,05$.

Результаты и обсуждение

Физико-химические свойства образцов. Изученные объекты сильно отличаются по интенсивности антропогенного воздействия, величинам рН и ЕС, содержанию C_{орг} и гранулометрическому составу. Так, гумусовый горизонт дерново-подзолистых почв ЦЛЗ характеризуется кислой реакцией среды (рН 4,3), а дорожная пыль Севастополя, поверхностный горизонт РАТ реплантозема Москвы и гумусовый горизонт крымского чернозема – слабощелочной (7,3) и щелочной (8,0-8,5) реакцией, соответственно. Максимальное значение ЕС характерно для реплантозема Москвы (851 мкСм/см), что, вероятно связано с присутствием в водной вытяжке большого количества легкорастворимых солей антропогенного происхождения, основными источниками которых в Москве являются противогололедные реагенты [8]. По гранулометрическому составу пробы также делятся на две группы – чернозем и дорожная пыль в Крыму тяжелосуглинистые (содержат 35-50% частиц диаметром <10 мкм), а дерново-подзолистая почва ЦЛЗ и реплантозем Москвы супесчаные и легкосуглинистые соответственно (15-20%).

В горизонте АУ дерново-подзолистой почвы ЦЛЗ (рисунок 1) при выделении гранулометрической фракции РМ1 с однократным и многократным озвучиванием наблюдается значимое увеличение ($p<0,0001$) содержания большинства химических элементов относительно

выделения без озвучивания. При этом концентрация элементов при многократном озвучивании по сравнению с однократным отличается незначительно ($p=0,4$): увеличивается содержание P, S, V, Mn и снижается содержание Na, K, Sr, Zr и Cd. В целом, количество озвучиваний практически не влияет на содержание элементов во фракции PM1. Влияние озвучивания на содержание химических элементов в полученной взвеси фракции PM1-10 выражено слабее ($p=0,01$), чем для фракции PM1: увеличивается только содержание P, S, Mn, Mo, Cd, Sb, Bi (рисунок 1).

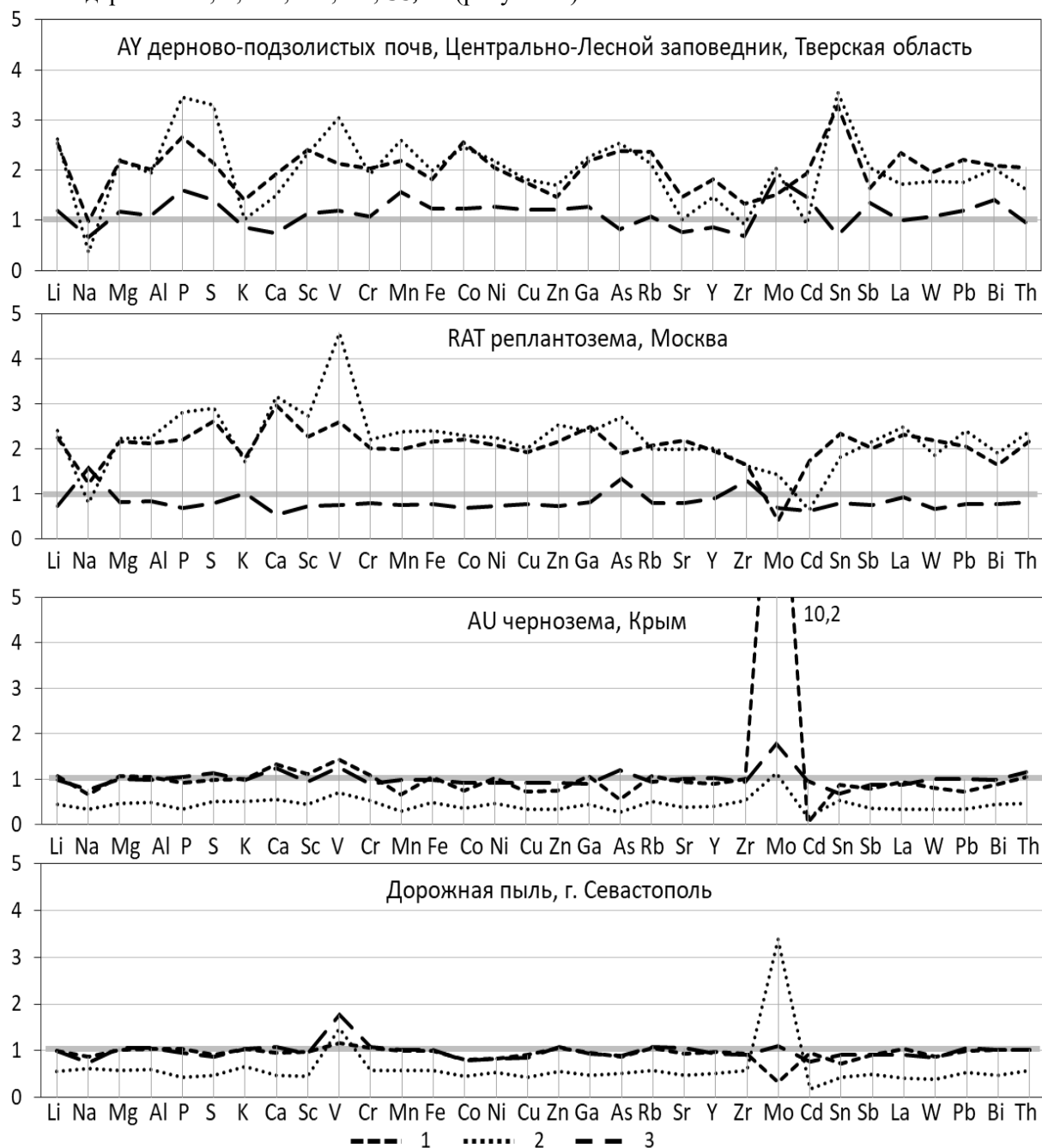


Рисунок 1. Содержание химических элементов в гранулометрических фракциях, полученных при различных способах ультразвуковой диспергации (среднее по двум измерениям), нормированное на содержание в пробах, полученных без озвучивания для фракции PM1 при однократном озвучивании; 2 – PM1 при многократном озвучивании; 3 – PM1-10 при однократном озвучивании.

Для поверхностного горизонта реплантозема Москвы (рисунок 1), в целом, характерно такое же влияние ультразвуковой пробоподготовки на содержание химических элементов в получаемой твердой фазе, как и для дерново-подзолистой почвы ЦЛЗ. Так, содержание практически всех элементов выше во фракции PM1, выделенной с использованием ультразвука, что, вероятно, связано с разрушением микроагрегатов до элементарных почвенных частиц и большим выходом тонких фракций. При этом, содержание элементов в пробе, подвергшейся однократному и многократному озвучиванию, в

большинстве случаев близко, что говорит об их концентрации преимущественно в трудно разрушаемых минералах. Исключением является V, содержание которого в 2-4 раза больше в РМ1, полученной при многократном озвучивании. В РМ1-10 озвучивание значительно увеличивает содержание только Li, Na, As, Zr ($p=0,0001$; рисунок 1).

В гумусовом горизонте крымского чернозема и дорожной пыли Севастополя однократное озвучивание образцов слабо влияет на уровни содержания элементов в частицах РМ1 и РМ1-10 ($p=0,4$) за исключением Мо в черноземах, содержание которого во фракции РМ1 при однократном озвучивании возрастает в 10 раз относительно образца, не подверженного озвучиванию. Однако по сравнению с дерново-подзолистой почвой ЦЛЗ и реплантоземом Москвы, в горизонте АУ чернозема Крыма и дорожной пыли Севастополя при многократном озвучивании во фракции РМ1 значительно уменьшается ($p<0,005$) содержание практически всех элементов (рисунок 1), за исключением Мо в дорожной пыли, содержание которого увеличивается.

Различия гранулометрического и элементного состава дерново-подзолистых почв ЦЛЗ и чернозёмов степи объясняется различиями в их минералогическом составе. Так, в дерново-подзолистых почвах преобладают минералы группы каолинита – 42-47% от суммы [2, 3], а в чернозёмах [4] – иллиты (53-63% от суммы).

Выводы

На содержание химических элементов в получаемой гранулометрической фракции РМ1 гумусового горизонта дерново-подзолистых почв Центрально-Лесного заповедника и реплантозема Москвы значительно влияет применение ультразвукового диспергирования. Однократного озвучивания достаточно для разрушения всех микроагрегатов, что увеличивает содержание большинства элементов в получаемой фракции РМ1 относительно варианта без использования ультразвука. Дополнительное ультразвуковое воздействие не сказывается на содержании элементов в получаемой таким образом пробе. На содержание элементов во фракции РМ1-10 однократное озвучивание не оказывает существенного влияния, поэтому применение ультразвукового диспергирования для ее выделения не требуется.

В гумусовом горизонте чернозема Крыма и дорожной пыли Севастополя однократное озвучивание в низкой степени влияет на выход элементов в гранулометрических фракциях РМ1 и РМ1-10. Многократное озвучивание снижает концентрацию некоторых элементов в получаемой пробе фракции РМ1 за счет разрушения агрегатов из первичных минералов с меньшим содержанием элементов.

Таким образом, ультразвуковое воздействие различным образом влияет на концентрации элементов в выделяемых микрочастицах из почв Московского региона, а также почв и дорожной пыли Крыма. Для выделения РМ1 из почв Московского региона достаточно однократного озвучивания образцов, в то время как применение ультразвукового диспергирования для получения РМ1 и РМ1-10 из изученных объектов Крыма и РМ1-10 из почв Московского региона слабо эффективно и не требуется для выделения микрочастиц РМ1 и РМ1-10 из исходных валовых образцов.

Полевые работы выполнены при поддержке проектов 17-05-41036 РГО_а (ЦЛЗ, Тверская обл.), РФФИ 19-05-50101 (г. Севастополь, Крым) и РНФ № 19-77-30004 (г. Москва). Обработка и интерпретация данных выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 19-77-30004-П. Авторы благодарны Н.Е. Кошелевой за консультации и руководство работой; В.В. Крупской за консультации по методике гранулометрического фракционирования; Д.В. Власову за консультации при интерпретации результатов; Е.В. Терской и Л.В. Добрыдневой за консультации при выполнении химико-аналитических работ; сотрудникам Всероссийского института минерального сырья имени Н.М. Федоровского за определение содержаний элементов в гранулометрических фракциях.

Литература

1. Енчилик П.Р., Семенков И.Н., Асеева Е.Н., Самонова О.А., Иовчева А.Д., Терская Е.В. Катенарная биогеохимическая дифференциация в южно-таежных ландшафтах (Центрально-Лесной заповедник, Тверская область) // Вестник Московского университета. Серия 5: география. 2020. № 6. с 121-133.
2. Ишкова И.В., Русакова Е.С., Толпешта И.И., Соколова Т.А. Почвы склона и поймы ручья в Центрально-Лесном заповеднике: некоторые химические свойства и состав глинистых минералов // Вестник Московского университета, Серия 17, Почвоведение. 2010. № 3. с. 3-9
3. Маряхина Н.Н., Максимова Ю.Г., Толпешта И.И., Соколова Т.А. Химико-минералогическая характеристика подзолистых почв Центрального Лесного заповедника в местах распространения

- карстовых образований // Вестник Московского университета. 2009. Серия 17: Почвоведение. № 3. с. 25-31.
4. Силёва Т.М., Артемьева З.С., Рыжова И.М., Состав микроагрегатов черноземов Приволжской лесостепи // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2013. № 5. с. 19-31.
 5. Шаймухаметов М.Ш., Воронина К.А. Методика фракционирования органо-глинистых комплексов почв с помощью лабораторных центрифуг // Почвоведение. 1972. № 8. с. 134–138.
 6. Юдина А.В., Фомин Д.С., Котельникова А.Д., Милановский Е.Ю. От понятия элементарной почвенной частицы к гранулометрическому и микроагрегатному анализам (обзор) // Почвоведение. 2018. 11. с. 1340-1362.
 7. Acosta J.A., Faz C.A., Arocena J.M., Debela F., Martinez-Martinez S. Distribution of metals in soil particle size fraction and its implication to risk assessment of playgrounds in Murcia City (Spain) // Geoderma. 2009. V. 149. P. 101-109. doi: 10.1016/j.geoderma.2008.11.034
 8. Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Vlasov D.V., Nabelkina K.S., Ryzhov A.V. Physicochemical properties of road dust in Moscow // Geography, Environment, Sustainability. 2019. V. 12. № 4. p. 96-113. doi: 10.24057/2071-9388-2019-55
 9. Poppe L.J., Eliason, A.E. A BASIC program to calculate gravitational and centrifugal parameters: Geological Society of America. 2009. V. 41. № 3. 21 p.
 10. Ramírez O., Sánchez de la Campa A.M., Amato F., Catacolí R.A., Rojas N.Y., de la Rosa J. Chemical composition and source apportionment of PM10 at an urban background site in a high-altitude Latin American megacity (Bogota, Colombia) // Environmental Pollution. 2018. V. 233. P. 142-155. doi: 10.1016/j.envpol.2017.10.045
 11. Vlasov D.V., Kukushkina O.V., Kosheleva N.E., Kasimov N.S. Levels and factors of the accumulation of metals and metalloids in roadside soils, road dust, and their PM10 fraction in the Western Okrug of Moscow // Eurasian Soil Science. 2022. V. 55. № 5. P. 556-572. doi: 10.1134/S1064229322050118
 12. Vlasov D.V., Vasil'chuk J.Yu., Kosheleva N.E., Kasimov N.S. Contamination levels and source apportionment of potentially toxic elements in size-fractionated road dust of Moscow // Environmental Science and Pollution Research. 2023. V. 30. P. 38099-38120. doi: 10.1007/s11356-022-24934-1

INFLUENCE OF SONICATION PARAMETERS DURING GRANULOMETRIC FRACTIONATION OF SAMPLES ON CHEMICAL ELEMENTS CONTENT IN SIZE-FRACTIONATED SOILS AND ROAD DUST

Enchilik P.R., Semenov I.N., Bezberdaya L.A., Vasilchuk J.Yu., Kasimov N.S.
Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography

The properties and elemental composition of the fine fractions of soils and road dust <10 µm in size are given special attention, since they are the leading carriers of pollutants. The work is devoted to assessing the effect of ultrasonic dispersion (sonication) during sample preparation of soil and road dust samples on the content of a wide group of chemical elements in microparticles <1 µm (PM1) and 1-10 µm (PM1-10). Particle-size fractions from the humus horizon of background Retisols of the Central Forest Reserve, Moscow Replantozem, Pachic Chernozems, and Sevastopol road dust were separated in three different ways: without the use of sonication before centrifugation, with a single sonication before the first centrifugation and with sonication before each centrifugation. The study showed that a single sonication of samples of humus horizons of background Retisols and Moscow Replantozem significantly increased the content of most elements in the PM1 fraction, with no additional effect in the case of repeated sonication. A single sonication of samples of Pachic Chernozems and road dust from Sevastopol did not affect the elemental composition of the PM1 and PM1-10 fractions. Multiple sonication reduced the concentration of elements in the PM1 fraction due to the destruction of mineral aggregates.

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ Г. НОВОЧЕРКАССКА

с.н.с., к.г.н Константинова Е.Ю.¹, м.н.с. Пуликова Е.П.¹, доц., к.б.н. Литвинов Ю.А.¹, н.с., к.г.н. Нестерук Г.В.², преп. Шерстнев А.К.¹, студ. Лацынник Е.С.¹, проф., д.б.н. Минкина Т.М.¹

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

²Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

Проанализированы уровни и пространственное распределение потенциально токсичных элементов в поверхностных горизонтах почв Новочеркасска (Ростовская обл.), отобранных в летне-осенний период 2022 г. по регулярной сети в пределах административных границ города. Содержания V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr и Pb в почвах определены с помощью рентгенофлуоресцентного анализа. Показано, что средние содержания Ni, Cr, Zn, As в городских почвах незначительно превышают среднемировые. Вместе с тем, уровни элементов в почвах Новочеркасска сопоставимы с их средними содержаниями в почвах урбанизированных территорий со схожей промышленной специализацией. Локальный городской фон элементов в почвах, используемый как предел для выделения геохимических аномалий, определен по методу «медиана + 2 медианных абсолютных отклонения». Наибольшие доли аномальных значений, как и максимальные превышения локального фона, отмечены для Zn и Pb в почвах города. Области повышенных содержаний большинства элементов приурочены к крупным промышленным кластерам со специализацией в машиностроении и металлообработке.

Введение

Урбанизированные территории выступают ключевыми центрами техногенеза [2], в результате которого в окружающую среду из промышленных, транспортных, коммунальных и иных источников в избыточных количествах поступают химические вещества, в том числе потенциально опасные. В условиях урбанизации уровни и пространственное распределение поллютантов в почвах отражают долговременное техногенное воздействие и служат геохимическими маркерами источников загрязнения [8]. В городских почвах уровень потенциально токсичных элементов (ПТЭ), в числе которых рассматриваются V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr и Pb, обусловлен как неоднородностью почвенно-литологических условий, так и характером и интенсивностью антропогенного воздействия [7].

Город Новочеркасск площадью 128 км² с населением 163,6 тыс. чел. является четвертым по численности населения городом в Ростовской области [4], крупным промышленным центром со специализацией в металлургии и машиностроении, производстве кокса и нефтепродуктов, электрооборудования, металлических и электронных изделий, пищевых продуктов. В пригороде расположена Новочеркасская ГРЭС (НГРЭС), установленной мощностью 2258 МВт, входящая в пятерку крупнейших угольных электростанций России. В результате работы станции в атмосферу поступают 70,4 тыс. т загрязняющих веществ [1]. Комплексные мониторинговые исследования импактной зоны НГРЭС показали увеличение уровней содержания ПТЭ в почвах [5, 9-10].

Неравномерное размещение производств приводит к формированию геохимических аномалий в городских почвах. Цель данного исследования состоит в оценке уровней ПТЭ в почвах Новочеркасска и анализе их пространственной вариабельности.

Материалы и методы

Полевые почвенно-геохимические исследования проведены в период с августа по октябрь 2022 г. в административных границах г. Новочеркасска по регулярной сети с шагом 1 км. Получена выборка из 107 образцов поверхностного почвенного горизонта (0-10 см). Пробоподготовка выполнялась стандартными методами [3].

Содержания V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr и Pb в почвенных образцах определены с применением рентгеновского спектрометра «Спектроскан МАКС-GV» (Спектрон, Россия) в соответствии с аттестованной методикой [3]. При дальнейшей обработке данных содержания элементов в почвах (C_i) ниже предела обнаружения приняты равными половине его значения [8].

Статистическая обработка полученных данных выполнена в пакете Statistica 10 «StatSoft» (США). Для характеристики полученных выборок использованы стандартные методы описательной статистики, проведены тесты Колмогорова-Смирнова и Лиллиефорса и критерия χ^2 . Методом «медиана + 2 медианных абсолютных отклонения» рассчитаны значения локального городского фона (C_{LB}) целевых элементов в городских почвах, которые служили пределом для выделения геохимических аномалий. Предварительно данные были логарифмированы, полученные значения трансформированы обратно [7]. Оценка интенсивности антропогенного поступления элементов оценивалась на основе

коэффициента концентрации: $K_C = C_i/C_{LB}$ [7-8]. Паттерны пространственного распределения поллютантов охарактеризованы с помощью точечных карт, построенных в программе Surfer 12 (Golden Software, США).

Результаты и их обсуждение

Средние содержания элементов в почвах Новочеркасска составили: V – 90,9 мг/кг, Cr – 107,4 мг/кг, Mn – 613,3 мг/кг, Co – 12,4 мг/кг, Ni – 48,7 мг/кг, Cu – 37,2 мг/кг, Zn – 130,9 мг/кг, As – 14,2 мг/кг, Sr – 173,9 мг/кг, Pb – 26,2 мг/кг. Средние содержания V, Mn, Co, Cu, Sr и Pb в городских почвах соответствуют среднемировым содержаниям элементов в почвах [6]. В то же время, уровни Ni, Cr, Zn, As выше среднемировых в 1,7–2,1 раза. В сравнении с почвами старопромышленного высокоиндустриального Восточного округа Москвы [2] в городских почвах Новочеркасска значительно ниже содержания Cu, Zn, Pb (в 1,8-2,0 раза), но выше содержания Ni, Co, As (в 1,4-2,0 раза). Сравнивая геохимические особенности почв Новочеркасска с почвами схожего по промышленной специализации и природным условиям города – Тюмени [8], можно отметить в среднем более высокие уровни Zn и As при близких уровнях остальных элементов (кроме Co; ниже в 1,6 раза).

Распределение большинства элементов, кроме Mn, в почвах Новочеркасска отличается от нормального визуально и по результатам тестов (рисунок 1).

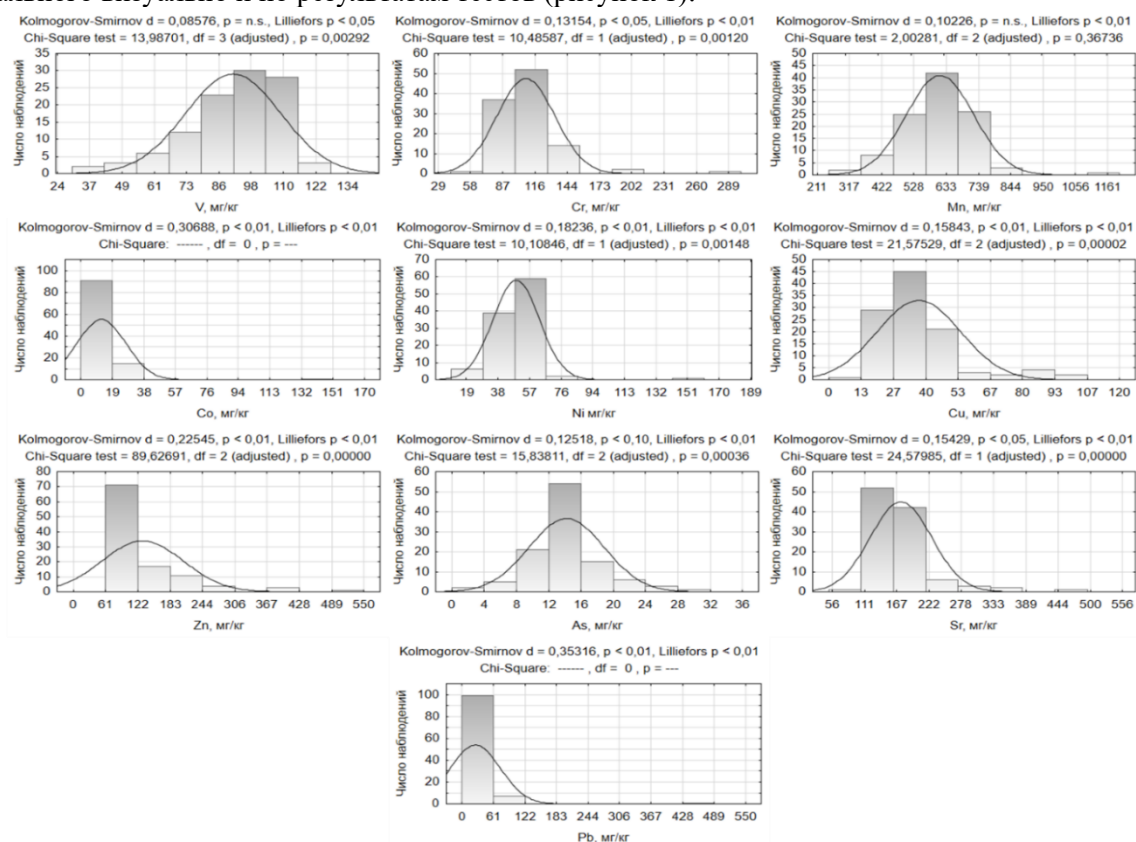


Рисунок 1. Гистограммы распределения содержаний элементов (мг/кг) с кривыми плотности нормального распределения и результатами тестов Колмогорова-Смирнова (Kolmogorov-Smirnov d), Лиллиефорса (Lilliefors-p) и χ^2 (Chi-Square test) в почвах Новочеркасска.

Выраженной правосторонней асимметрией характеризуется распределение Co, Ni, Cu, Zn и Pb, а левосторонней – V; распределение Cr, As и Sr носит мультимодальный характер. Наиболее однородны выборки V, Cr, Mn, Ni, Sr (коэффициенты вариации (CV) 20%, 24%, 18%, 29% и 30%, соответственно), их медианные значения близки к средним, что указывает на преимущественно природный характер их поступления в почвы города. Максимальные CV отмечены для Co и Pb (118% и 184%), что обусловлено их антропогенным происхождением [7]. Распределения Cu, Zn и As также неравномерны (CV 33-59%), что объясняется их поступлением из разных источников.

Рассчитан локальный фон элементов в городских почвах Новочеркасска, который составил: 122,5 мг/кг для V, 130 мг/кг для Cr, 762,5 мг/кг для Mn, 39,4 мг/кг для Co, 59,3 мг/кг для Ni, 56 мг/кг для Cu, 161,4 мг/кг для Zn, 18,4 мг/кг для As, 212,5 мг/кг для Sr и 8 мг/кг для Pb. Наименьшие доли аномальных

значений отмечены для V (0,9%), Co (0,9%), Mn (4,7%), а наибольшие – для Zn (22,4%) и Pb (49,5%). Доли аномальных значений остальных элементов варьируют от 8,4 до 14%.

Характер пространственного распределения элементов в поверхностных горизонтах городских почв Новочеркасска демонстрирует рисунок 2. Наименее контрастные аномалии, имеющие точечный характер, отмечены для V, Mn, As, Cu, максимальные значения K_C которых не превышают 2,0. Локальные области высоких содержаний данной группы элементов встречаются в почвах различного функционального назначения.

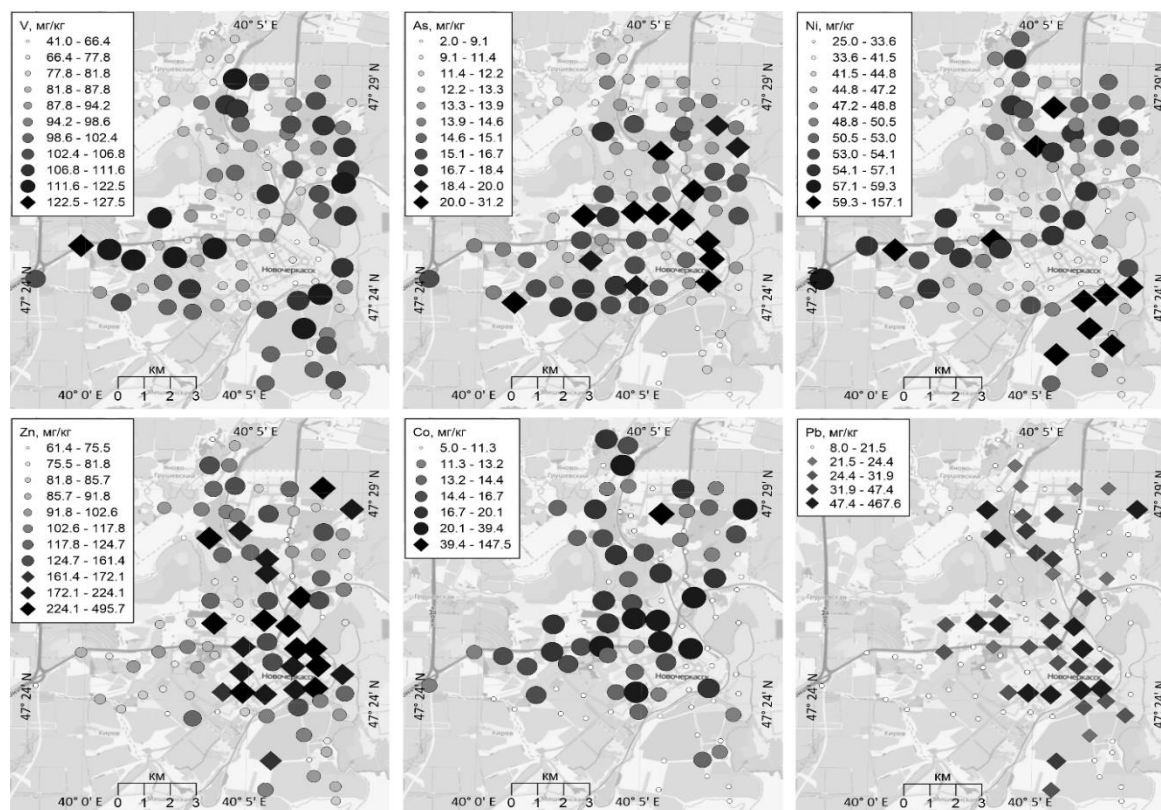


Рисунок 2. Пространственное распределение и геохимические аномалии V, As, Ni, Zn, Co и Pb в поверхностных горизонтах почв Новочеркасска. Ромбами отмечены содержания, превышающие локальный фон элементов.

Слабовыраженные аномалии (K_C до 3,0) отмечены для Cr, Sr, Ni, а умеренные – для Zn и Co (K_C до 3,1 и 3,7). Области повышенных содержаний приурочены к промышленному кластеру в Октябрьском районе города и к крупным транспортным магистралям. Наибольшей контрастностью отличаются аномалии Pb, значения K_C которого достигают 58,4. В историческом центре и в промышленном районе на севере города отмечаются обширные площадные аномалии Zn и Pb.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-77-00099, <https://rscf.ru/project/22-77-00099/>.

Литература

1. Годовой отчет 2020 / Публичное акционерное общество «Вторая генерирующая компания оптового рынка электроэнергии» (ПАО «ОГК-2»). СПб.: ПАО «ОГК-2», 2021. 286 с.
2. . Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 278 с.
3. ПНД Ф 16.1.42-04. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа (утв. ФГУ Федеральный научно-методический центр анализа и мониторинга окружающей среды МПР России 23.03.2004). М., 2010. 13 с.
4. Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов. 2022: Стат. сб. / Росстат. М., 2022. 460 с.

5. Burachevskaya M., Minkina T., Mandzhieva S., Bauer T., Chaplygin V., Zamulina I., Sushkova S., Fedorenko A., Ghazaryan K., Movsesyan H., Makhinya D. Study of copper, lead, and zinc speciation in the Haplic Chernozem surrounding coal-fired power plant // *Appl. Geochem.* 2019. Vol. 104. P. 102-108.
6. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. Fourth Edition / A. Kabata-Pendias. – Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. – 548 p.
7. Konstantinova E., Minkina T., Antonenko E., Sherstnev A., Mandzhieva S., Sushkova S., Rajput V.D., Konstantinov A. Assessing the combined pollution and risks of potentially toxic elements and PAHs in urban soils of the oldest city of Western Siberia: A Case Study of Tyumen, Russia // *Water.* 2023. Vol. 15, № 11. P. 1996.
8. Konstantinova E., Minkina T., Sushkova S., Konstantinov A., Rajput V. D., Sherstnev A. Urban soil geochemistry of an intensively developing Siberian city: A case study of Tyumen, Russia // *J. Environ. Manage.* 2019. Vol. 239. P. 366-375.
9. Linnik V.G., Minkina T.M., Bauer T.V., Saveliev A.A., Mandzhieva S.S. Geochemical assessment and spatial analysis of heavy metals pollution around coal-fired power station // *Environ. Geochem. Health.* 2020. Vol. 42. P. 4087-4100.
10. Minkina T., Konstantinova E., Bauer T., Mandzhieva S., Sushkova S., Chaplygin V., Burachevskaya M., Nazarenko O., Kizilkaya R., Gülser C., Maksimov A. Environmental and human health risk assessment of potentially toxic elements in soils around the largest coal-fired power station in Southern Russia // *Environ. Geochem. Health.* 2021. Vol. 43. P. 2285-2300.

ANALYSIS OF SPATIAL VARIABILITY OF POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS IN SOILS OF NOVOCHERKASSK

Konstantinova E.Yu.¹, Pulikova E.P.¹, Litvinov Yu.A.¹, Nesteruk G.V.², Sherstnev A.K.¹, Latsynnik E.S.¹,
Minkina T.M.¹

¹Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

²Southern Scientific Center RAS

The levels and spatial distribution of potentially toxic elements in the surface horizons of the soils of Novocherkassk (Rostov region) were analyzed. Sampling was conducted in the summer-autumn period of 2022 using a regular network within the administrative boundaries of the city. The contents of V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, and Pb in soils were determined using X-ray fluorescence analysis. It is shown that the average content of Ni, Cr, Zn, and As in urban soils slightly exceeds the world average. At the same time, the levels of elements in the soils of Novocherkassk are comparable to their average contents in the soils of urbanized areas with a similar industrial specialization. The local urban background of elements in soils, used as a limit for identifying geochemical anomalies, was determined using the “median + 2 median absolute deviation” method. The largest proportions of anomalous values, as well as the maximum excesses of the local background, were noted for Zn and Pb in the soils of the city. Areas of elevated contents of most elements are confined to large industrial clusters with a specialization in mechanical engineering and metalworking.

The study was supported by the Russian Science Foundation Grant No. 22-77-00099, <https://rscf.ru/project/22-77-00099/>.

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДИСТЫХ СОРБЕНТОВ С ИММОБИЛИЗИРОВАННЫМИ ШТАММАМИ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ РЕМЕДИАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПАУ ПОЧВ

м. н.с. Козьменко С.В., доц., к.б.н. Горовцов А.В., м.н.с. Дудникова Т.С., проф., д.б.н. Минкина Т.М.,
д.б.н. Сушкова С.Н., студ. Загайнов Е.А., студ. Бояршинов В.А.

Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета,
Ростов-на-Дону, Россия

Исследована эффективность комплексных сорбентов на основе биочара и бактерий-деструкторов ПАУ. Получены результаты по суммарному содержанию ПАУ в почве с внесением различных вариантов сорбентов. Содержание иммобилизированных на поверхности биочара бактерий КОЕ/г сорбента составило для консорциума штаммов, $9,1 \pm 0,3 \cdot 10^9$ для *Pseudomonas putida* (P.P. SPp1), $9,6 \pm 0,8 \cdot 10^9$ для *Rhodococcus erythropolis* SRe1 (R.E. SRe1), $6,7 \pm 0,11 \cdot 10^9$ для *Pseudomonas sp.A10* (A10), $8,4 \pm 0,01 \cdot 10^9$ для *Pseudomonas allopitida* BS3501 (Bs3501). Исходя из данных модельного эксперимента наиболее эффективное снижение ПАУ достигалось при внесении комплексного сорбента на основе консорциума штаммов-деструкторов. Суммарное содержание ПАУ в варианте с внесением данного сорбента было самым низким и составило 946,11 нг/г.

Введение

Высокая антропогенная нагрузка на почвы городов и близлежащих территорий приводит к попаданию в экосистемы высоких концентраций полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). ПАУ относятся к высокотоксичным, устойчивым в окружающей среде, обладающие канцерогенным и мутагенным эффектами поллютантам, поэтому является актуальным поиск методов ремедиации направленных позволяющих ускорить деградацию соединений ПАУ. На сегодняшний день известны физические, химические и биологические методы борьбы с загрязнением, вызванным этими веществами (ссылка). При ремедиации почв наиболее часто применяются методы биодegradации ПАУ. Среди биологических методов выделяют биоаугментацию - стимуляцию местных аборигенных видов микроорганизмов и биоремедиацию – внесение в почву бактерий с заданными свойствами.

Среди представителей бактерий, имеющих механизмы деструкции соединений полиароматических углеводородов, наиболее часто встречаются представители родов *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Sphingomonas* и *Arthrobacter*. Известно, что чистые культуры бактерий могут быстро утилизировать ПАУ в модельных средах, но теряют свои свойства в почве. Изоляты не полностью адаптированы к почвенным условиям, а именно к содержанию углерода, азота и фосфора, типам и биодоступности ПАУ и взаимодействиям с аборигенными почвенными бактериями, в связи с чем имеется необходимость в поиске способов, которые обеспечат выживаемость вносимых культур бактерий в почвах с высоким содержанием поллютантов [1].

Одним из таких способов является иммобилизация бактерий на поверхности биочара. Во-первых, биочар за счет своей пористой структуры является прекрасным материалом для прикрепления бактериальных клеток. Во-вторых, добавление биочара улучшает физико-химические свойства почвы, включая емкость катионного обмена, водоудерживающую способность и pH, которые влияют на доступность питательных веществ и доноров электронов для микробного сообщества [3]. Эти факторы являются одними из лимитирующих для роста и размножения бактерий. В-третьих, биочар, полученный из богатых углеродом растительных остатков путем термического разложения, богат О-содержащими функциональными группами, которые действуют как эффективные сорбенты для ТМ и ПАУ. Более того, пористая структура и высокая диспергируемость биочара могут обеспечить дополнительную среду обитания и экологическую нишу для микробов, создавая условия, благоприятные для их выживания и роста [2], [3].

Цель настоящей работы – изучить эффективность деструкции ПАУ при внесении иммобилизированных на поверхности биочара бактерий.

Материалы и методы исследования

Для определения эффективности деструкции соединений ПАУ был поставлен модельный эксперимент. На поверхность почвы (2 кг) вносили водный раствор смеси ПАУ (БаП - 100, пирен 350 и фенантрен 750 мкг/кг) в ацетонитриле. В качестве микроорганизмов деструкторов-ПАУ использовались штаммы *Pseudomonas putida* (P.P SPp1) и *Rhodococcus erythropolis* Sp1 (R.E. SRe1), а так же консорциум, состоящий из этих штаммов, *Pseudomonas allopitida* BS3501 (Bs3501), *Pseudomonas* sp. A10 (A10). Инкубация производилась при температуре 25°C. Влажность почвы поддерживалась на уровне 60%

Всего было заложено семь вариантов опыта по следующей схеме:

- Вариант 1: Контроль (незагрязненная почва).
- Вариант 2: Контроль + ПАУ;
- Вариант 3: Контроль + ПАУ + Биочар 1% + 1% P.P SPp1
- Вариант 4: Контроль + ПАУ + Биочар 1% + 1% R.E.SRe1
- Вариант 5: Контроль + ПАУ + Биочар 1% + 1% штаммы-деструкторы (Консорциум)
- Вариант 6 Контроль + ПАУ + Биочар 1% + 1% A10
- Вариант 7 Контроль + ПАУ + Биочар 1% + 1% BS3501

Для получения бактериальных изолятов производилось накопление суточной культуры на твердой питательной среде МПА с последующим смывом культуры стерильной водой. Полученную суспензию доводили до плотности 1 ед. МкФ по OD600. В стерильных емкостях смешивались минеральная среда MSM, 1% LB-бульона и вносился биочар в количестве 2% по массе от объема среды. После чего в среду с биочаром вносили бактериальные суспензии в количестве 1% от общего объема среды. Инкубация производилась при температуре 30°C, 150 об/мин в течение 3 суток. По истечении срока

инкубации биочар фильтровался от остатков культуральной жидкости и промывался 0,05 М фосфатным буфером для удаления не инокулированных клеток с поверхности частиц биочара. Полученный комплексный биосорбент сушился при комнатной температуре в течение суток.

Для оценки титра бактерий в полученных образцах сорбента производился посев методом серийных разведений. Для этого навеску биочара с добавлением стерильной воды тщательно растирали резиновым пестиком в фарфоровой ступке в течение 10 минут для десорбции клеток с поверхности биочара. Для перехода максимального количества бактериальных клеток с поверхности и пор биочара в раствор, после растирания суспензия тщательно встряхивалась в пробирке на вортексе в течение 10 мин.

Результаты и их обсуждения

В качестве носителя для культур микроорганизмов деструкторов ПАУ был выбран биочар из рисовой шелухи с размером частиц 0.25 мм. На момент внесения комбинированного сорбента в почву численность КОЕ/г сорбента составила $9 \pm 0,05 \cdot 10^9$ для консорциума штаммов, $9,1 \pm 0,3 \cdot 10^9$ для *Pseudomonas putida* SPp1 (P.P SPp1), $9,6 \pm 0,8 \cdot 10^9$ для *Rhodococcus erythropolis* SRe1 (R.E. SRe1), $6,7 \pm 0,11 \cdot 10^9$ для *Pseudomonas sp.* A10 (A10), $8,4 \pm 0,01 \cdot 10^9$ для *Pseudomonas alloputida* BS3501 (Bs3501).

Наибольшее снижение концентрации ПАУ наблюдалось в варианте с внесением комплексного сорбента на основе консорциума штаммов *Pseudomonas putida* SPp1 (P.P SPp1) и *Rhodococcus erythropolis* SRe1 (R.E. SRe1) – 946,11 нг/г. Значительно меньшую эффективность показало внесение комплексных сорбентов на основе одного штамма-деструктора, содержание ПАУ в этих вариантах было близко к значениям 1642 нг/г в загрязненной почве (Вариант 2 Контроль+ПАУ) и составило - 1487,3 нг/г для сорбента с *Rhodococcus erythropolis* SRe1 (R.E. SRe1), 1630,4 для сорбента с *Pseudomonas putida* SPp1 (P.P. SPp1) и для сорбента с *Pseudomonas sp.* A10 (A10) 1505,8 нг/г. Вероятно, это связано с тем, что разные штаммы бактерий способны к деструкции только определенных видов соединений ПАУ. При разложении молекул ароматических соединений образуются производные соединения, которые не утилизируются одиночными штаммами-деструкторами, что может приводить к снижению численности бактерий и как следствие снижению эффективности сорбента (ссылка).

Из четырех сорбентов на основе одного бактериального штамма высокую эффективность показал сорбент на основе штамма *Pseudomonas alloputida* BS3501 (Bs3501). Суммарное содержание ПАУ при внесении данного сорбента составило 1217 нг/г.

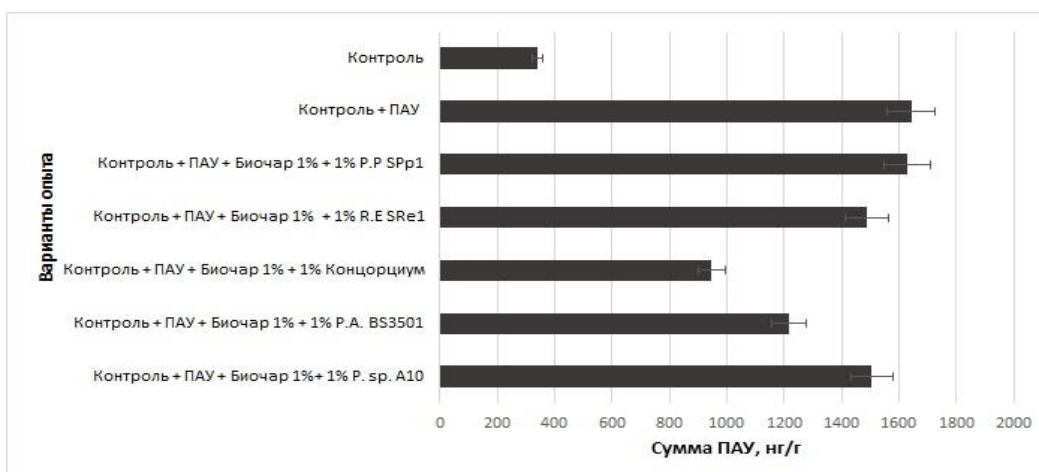


Рисунок 1 Суммарное содержание ПАУ в искусственно загрязненной почве после инкубации с биочаром и комплексными сорбентами на основе биочара с иммобилизированными на его поверхности бактериями

Таким образом, использование сорбентов на основе консорциума микроорганизмов позволяет в значительной степени снизить содержание ПАУ в почве. Совместное внесение бактерий специализирующихся на разложении разных групп ПАУ позволяет повысить общую эффективность сорбента на основе штаммов-деструкторов

Проект Министерства науки и высшего образования РФ по поддержке молодежной лаборатории "Агробиотехнологии для повышения плодородия почв и качества сельскохозяйственной продукции" в рамках программы развития межрегионального научно-образовательного центра Юга России (№ ЛабНОЦ-21-01АБ, FENW-2021-0014)

Литература

1. Delegan Y., Sushkova S., Minkina T., Filonov A., Kocharovskaya Y., Demin K., Maksimov A. Diversity and metabolic potential of a PAH-degrading bacterial consortium in technogenically contaminated haplic chernozem, Southern Russia //Processes. – 2022. – V. 10. – №. 12. – P. 2555.
2. Gorovtsov A., Demin K., Sushkova S., Minkina T., Grigoryeva T., Dudnikova T., Kocharovskaya Y. The effect of combined pollution by PAHs and heavy metals on the topsoil microbial communities of Spolic Technosols of the lake Atamanskoe, Southern Russia //Environmental Geochemistry and Health. – 2022. – T. 44. – №. 4. – С. 1299-1315.
3. Tong H., Hu M., Li F. B., Liu C. S., Chen M. J., Biochar enhances the microbial and chemical transformation of pentachlorophenol in paddy soil //Soil Biology and Biochemistry. – 2014. – T. 70. – С. 142-150
4. Zhao, L., Xiao, D., Liu, Y., Xu, H., Nan, H., Li, D., ... & Cao, X. (2020). Biochar as simultaneous shelter, adsorbent, pH buffer, and substrate of *Pseudomonas citronellolis* to promote biodegradation of high concentrations of phenol in wastewater. *Water Research*, 172, 115494

APPLICATION OF CARBON SORBENTS WITH IMMOBILIZED MICROORGANISMS FOR REMEDIATION OF PAH POLLUTED SOILS

Kozmenko S.V., Ph.D. Gorovtsov A.V., Dudnikova T.S., Prof., D. Sc Minkina T.M., Zagainov E.A., Boyarshinov V.A.

Academy of Biology and Biotechnologies, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

The efficiency of complex sorbents based on biochar and PAH-degrading bacteria has been studied. The results were obtained on the total content of PAHs in the soil with the introduction of various types of sorbents. The content of bacteria immobilized on the biochar surface CFU/g of sorbent was $9.1 \pm 0.3 \cdot 10^9$ for *Pseudomonas putida* SPp1 (P.P. SPp1), $9.6 \pm 0.8 \cdot 10^9$ for *Rhodococcus erythropolis* SRe1 (R.E. SRe1) for the consortium of strains, $6.7 \pm 0.11 \cdot 10^9$ for *Pseudomonas* sp.A10 (A10), $8.4 \pm 0.01 \cdot 10^9$ for *Pseudomonas allopuntida* BS3501 (Bs3501). Based on the data of the model experiment, complex sorbents based on a consortium of destructor strains proved to be the most effective. The total content of PAHs in the variant with the introduction of this sorbent was the lowest and amounted to 946.11 ng/g.

The research was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation project on the development of the Young Scientist Laboratory within the framework of the Interregional scientific and educational center of the South of Russia (no. LabNOTs-21-01AB, FENW-2021-0014)

ДИНАМИКА ПЫЛЕВОЙ НАГРУЗКИ НА СНЕГОВОЙ ПОКРОВ НА ТЕРРИТОРИИ Г.КЕМЕРОВО

асп. Кирина В. Д., д.г.-м.н., доц. Таловская А. В., д.г.-м.н., проф Языков Е.Г.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Прогресс производства в угольной промышленности несет наибольшую ответственность за увеличение загрязнения окружающей среды [1]. Главным образом влияние выбросов после сжигания угля происходит на качество атмосферного воздуха. Кемеровская область является одним из самых конкурентоспособных регионов с сырьевой специализацией [5]. На этой территории располагаются крупные предприятия по добыче и переработке угля. Ключевая роль данного исследования заключается в изучении элементного и минерально-вещественного состава пылевых частиц вблизи предприятий угольной промышленности г.Кемерово. Это исследование основано на результатах изучения проб снегового покрова, ведь снежный покров является лучшим индикатором состояния атмосферного воздуха, который за зимний период времени накапливает в себе большой перечень загрязняющих веществ. В данной работе показаны результаты определения пылевой нагрузки, изучения элементного состава проб с помощью инструментального нейтронно-активационного анализа, а для изучения минерально-вещественного состава были проведены: электронная сканирующая и бинокулярная микроскопия, рентгеноструктурный анализ. Установлено, что вблизи главных предприятий уровень пылевой нагрузки возрастает в изучаемый период с 2016 по 2023 гг. и изменяется от среднего до высокого уровня загрязнения. В пробах твердого осадка снега были выявлены характерные элементы от процессов сжигания и переработки угля: Tb, Yb, Ba, Sm, La, Th, U. Определено, что входящие в состав проб частицы муллита, кварца, ортоклаза, альбита, угля и шлака характерны для выбросов использующих при сжигании углей Кузнецкого бассейна.

Цель работы заключается в изучении проб твердого осадка снега на уровень пылевого загрязнения, элементный и минерально-вещественный состав, отобранных в функциональных зонах г.Кемерово.

В феврале 2016, 2020, 2022, 2023 гг. были проведены отборы проб методом площадной съемки масштабов 1:50000. Всего было отобрано 68 проб снегового покрова. Точки отбора проб расположены

в промышленно-селитебных, селитебных, рекреационных, автодорожных зонах г. Кемерово. Работы по отбору и подготовке снежных проб выполнены согласно опыту многолетних работ в ТПУ [11] и нормативной методики [3, 9]. Объект исследования – твердая фаза снега, представляющий собой пылевые аэрозольные частицы, аккумулированные в снеговом покрове. В пробах было определено 28 химических элементов инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА) в аккредитованной ядерно-геохимической лаборатории Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» отделение геологии ТПУ. Минерально-фазовая составляющая была определена на бинокулярном стереоскопическом микроскопе марки Leica ZN 4D, электронном сканирующем микроскопе S-3400N Hitachi с приставкой Bruker и методом рентгенофазового анализа на дифрактометре Bruker Phaser D2.

Уровень пылевой нагрузки рассчитывался как количество твердых частиц за единицу времени на единицу площади [8, 10]:

$$P_n = \frac{P_o}{S \times t} \quad (1)$$

где P_n – величина пылевой нагрузки, мг/(м²·сут.);

P_o – вес твердой фазы снега, мг;

S – площадь снегового шурфа, м²;

t – количество суток от начала снегоостава до дня отбора проб.

Полученные значения P_n оценивают уровни загрязнения и экологической опасности территории по общепринятым градациям (Методические ..., 1982; Методические ..., 1990; Геохимия ..., 1990; Касимов и др., 2012, Таловская А.В., 2022).

По результатам ИНАА был построен общий геохимический ряд ассоциаций химических элементов по значениям коэффициентов концентраций [6] относительно фона [13, 14], который представлен в таблице 1 ниже.

Коэффициент концентрации рассчитывается по формуле 2:

$$K_c = \frac{C}{C_{\phi}} \quad (2)$$

где K_c – коэффициент концентрации;

C – содержание элемента в пробе, мг/кг;

C_{ϕ} – фоновые концентрации элемента, мг/кг [13, 14].

Уровень пылевой нагрузки в г. Кемерово изменяется от 13 до 808 мг/(м²·сут.), а среднее значение по городу 212 мг/(м²·сут.), что приравнивается к низкому уровню загрязнения. В жилых районах, расположенных под воздействием теплоэлектростанции и коксохимического завода в течении периода наблюдений уровень пылевой нагрузки изменяется от 150 и до 808 мг/(м²·сут.). В 2016, 2023 году уровень пылевой нагрузки соответствует среднему уровню загрязнения согласно градации Саета Ю.Е. (1990) и Касимова Н.С. (2012) и высокому относительно фона (Таловская А.В., 2022). В 2022 году сформировался высокий уровень пылевого загрязнения. В этом же году наблюдались статистически значимо высокие уровни пылевой нагрузки, в сравнении с данными за 2016 и 2023 гг. В 2023 году уровень пылевой нагрузки статистически значимо выше в 2 раза уровня пылевой нагрузки за 2016 год, что связано с различием температурного режима в зимний период. Средняя температура в декабре 2023 года (-17,4°С), что в три раза выше температуры в этом же месяце в 2016 году (-6,7°С). Чем ниже температура, тем больше происходит потребление угля и соответственно может приводить к увеличению пылевой нагрузки за зимний период.

В северном и северо-восточном направлениях от предприятий наблюдается увеличение пылевой нагрузки по мере удаления от 0,5 км до 4,6 км. На такое распределение пылевой нагрузки влияет городской ландшафт. На расстоянии до 1 км, уровень пылевой нагрузки составляет в среднем 254 мг/(м²·сут.), что в 1,5-2 раза ниже значений пылевой нагрузки на расстоянии 1,2-4,6 км. На этом расстоянии от предприятий находится долина реки Томи.

Далее на расстоянии от 1,2 до 2,2 км наблюдается увеличение уровня пылевой нагрузки (среднее: 344 мг/(м²·сут.)). Это связано с расположением в этом районе исследовании низкотажной застройки, такой, как частный сектор. Стоит отметить, что на данном расстоянии расположена также лесопарковая зона с древесной растительностью, которая может способствовать более интенсивному накоплению пыли в снеговом покрове под кронами деревьев.

На расстоянии 2,5-4,6 км от предприятий в зоне расположения высокотажной застройки, уровень пылевой нагрузки возрастает в 1,5 раза и в среднем составляет 436 мг/(м²·сут.). Высокотажная застройка является барьером для переноса пылевых частиц, что способствует наибольшему осаждению

на снеговой покров в данном районе. В некоторых работах (Глазунов, 2013, Кошелева и др., 2018, Касимов и др., Макаров и др., 2002) показано, что высотная застройка городов формирует особый микроклимат и «городской каньон». Это приводит к турбулентным колебаниям скорости ветра и создает геохимическую неоднородность за счет перераспределения потоков атмосферных загрязняющих веществ и формирования зон седиментации в городских почвах и других средах осаждения.

В зоне влияния исследуемых предприятий до 2,2 км не исключается дополнительный вклад локальных источников в формирование уровня пылевой нагрузки, таких как печное отопление в частном секторе. Наши исследования показали, что уровень пылевой нагрузки статистически значимо ниже в 3-7 раз в частном секторе с печным отоплением и жилым районом с высотной застройкой, расположенных в южной и юго-восточной частях города вне зоны влияния от изучаемых предприятий. Установленный факт может показать, что печное отопление вносит незначительный вклад в формирование пылевой нагрузки. Как можно заметить, пылевая нагрузка в районе с высотными зданиями выше, чем в районе с частными застройками в три раза.

По результатам элементного состава проб твердой фазы снега были рассчитаны коэффициенты концентраций химических элементов (таблица 1), в сравнении с фоновыми территориями для юга Западной Сибири [13,14].

Таблица 1. Коэффициенты концентраций в пробах твердой фазы снега в г. Кемерово

$K_c \geq 1,5$	$K_c 1,5 - 10$	$K_c \leq 10$
Cr, Au, As, Ag, Br, Zn, Eu, Sb	Ce, Ca, Lu, Th, Hf, Sr, Nd, Cs, Sc, Rb, Fe, Ta, Co, Na	Sm, U, Yb, Ba, Tb, La

В исследуемых пробах твердой фазы снега, отобранных в различных функциональных зонах, содержание большинства химических элементов превышает фоновые значения до 22 раз.

По данным ИНАА за все изучаемые периоды в промышленно-селитебной зоне под воздействием теплоэлектростанции и коксохимического завода, районе частной и высотной застройки значения коэффициентов концентраций статистически не различаются. И преобладающими элементами во всех пробах являются: U, Yb, Tb, La, Sm которые говорят о характерных промышленных источниках загрязнения и характеризуют общий геохимический фон города. Возможное поступление данных элементов связано с процессами сжигания и переработки угля, так как в используемом угле Кузнецкого бассейна в особом количестве содержатся те же редкоземельные и радиоактивные элементы [2].

По мере отдаления от изучаемых предприятий от 0,5 км до 4,6 км в северном и северо-восточном направлении сохраняется тенденция по постепенному увеличению показателей коэффициентов концентраций элементов. В юго-западном направлении от предприятий значения ниже в среднем в 1,25 раз, что обусловлено для подветренной стороны.

Рентгенофазовый и минеральный анализы показали, что муллит и кварц входят в состав сферических образований, которые являются индикаторами техногенного воздействия на атмосферный воздух. Альбит, ортоклаз, кварц, муллит были обнаружены в пробах, отобранных в промышленно-селитебной зоне возле теплоэлектростанции и коксохимического завода. В пробах под электронным сканирующим микроскопом обнаружено 78 природных и техногенных частиц. Техногенные образования в основном состоят из Fe, Pb, Cu, Zn, REE. Наличие этих частиц так же обуславливается использованием и процессами сжигания углей Кузнецкого бассейна. Данные частицы имеют размерность от 5 до 20 мкм и могут задерживаться в верхних дыхательных путях и носовой полости, тем самым оказывать негативное влияние на здоровье человека.

Таким образом, по результатам изучения пылевого загрязнения снегового покрова выявлена динамика распределения пылевой нагрузки в функциональных зонах г. Кемерово. Определен уровень пылевого загрязнения в разных частях города за период наблюдений с 2016 по 2023 гг. Выявлены наиболее значимые элементы U, Yb, Tb, La, Sm, а также минеральные и техногенные частицы, содержащие Fe, Pb, Cu, Zn, REE.

Литература

1. Coal Power Impacts. Union of Concerned Scientists, 2019.
2. Арбузов С.И. Металлоносность углей Сибири // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – № 1. – С. 77–83.

3. Геохимия окружающей среды /Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин, Р. С. Смирнова, И. Л. Башаркевич, Т. Л. Онищенко, Л. Н. Павлова, Н. Я. Трефилова, А. И. Ачкасов, С. Ш. Саркисян. М.: Недра, 1990. -335 с.
4. Глазунов, А.В. Вихреразрешающее моделирование турбулентности в пограничном слое атмосферы: диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук: спец. 25.00.29 / А.В. Глазунов ; Институт вычислительной математики РАН. — Москва, 2013.
5. Каранина Е. В. Экономическая безопасность. На уровне государства, региона, предприятия. - Киров: ФГБОУ ВО «ВятГУ», 2016. - 389 с.
6. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Власов Д.В., Терская Е.В. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы. Вестник Моск. Ун-та. Сер. 5. География. 2012. С. 14-24.
7. Кошелева Н.Е., Цыхман А.Г. Пространственно-временные тренды и факторы загрязнения почвенного покрова Москвы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. - 2018. - Т. 26. - №2. - С. 207-236. doi: 10.22363/2313-2310-2018-26-2-207-236
8. Метод рекомендации ИМГРЭ Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 111 с.
9. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186 № 2932-83. - М.: Госкомгидромет, 1991. - 693 с.
10. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
11. Таловская А.В., Язиков Е.Г., Шахова Т.С., Филимоненко Е.А. Оценка аэротехногенного загрязнения в окрестностях угольных и нефтяных котельных по состоянию снегового покрова (на примере Томской области) // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов - 2016. - Т. 327, № 10. - С. 116- 130.
12. Таловская, А. В. Экогеохимия атмосферных аэрозолей на урбанизированных территориях юга Сибири (по данным изучения состава нерастворимого осадка снегового покрова): диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук : спец. 1.6.21 / А. В. Таловская ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет ; науч. конс. Е. Г. Язиков. — Томск, 2022 .
13. Шатилов А.Ю. Вещественный состав и геохимическая характеристика атмосферных выпадений на территории Обского бассейна: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск, 2001. – 24 с.
14. Язиков Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: Дис. ... докт. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Язиков Егор Григорьевич; Том. политехн. ун-т. – Томск, 2006. – 423 с..

DYNAMICS OF DUST LOAD OF SNOW COVER ON THE TERRITORY OF KEMEROVO

Kirina V. D., Talovskaya A. V., Yazikov E. G.
National Research Tomsk Polytechnic University

The progress of production in the coal industry is most responsible for the increase in environmental pollution. The main effect of emissions after coal combustion occurs on the quality of the atmosphere. Kemerovo Region is one of the most competitive regions with raw materials specialization. Large coal mining and processing enterprises are located on this territory. The key role of this study is to study the elemental and mineral-material composition of dust particles near the enterprises of the coal industry of Kemerovo. This study is based on the results of studying samples of snow cover, because snow cover is the best indicator of the state of the atmosphere, which accumulates a large list of pollutants during the winter period. This study shows the results of determining the dust load, studying the elemental composition of samples using instrumental neutron activation analysis, and to study the mineral-material composition, the following were carried out: electron scanning and binocular microscopy, X-ray diffraction analysis. It was found that near the main enterprises, the level of dust load increases in the studied period from 2016 to 2023 and varies from medium to high levels of pollution. In the samples of solid snow sediment, characteristic elements from the processes of coal combustion and processing were identified: Tb, Yb, Ba, Sm, La, Th, U. It was determined that the particles of mullite, quartz, orthoclase, albite, coal and slag included in the samples are characteristic of emissions used in the combustion of coal of the Kuznetsk coalfield.

К 100-летию юбилею ФЛЕЙШМАНА БЕНЦИОНА СЕМЕНОВИЧА



21 ноября 2023 г. исполняется 100 лет выдающемуся ученому Бенциону Семеновичу (Шимоновичу) Флейшману, доктору физико-математических наук, профессору создателю конструктивной теории информации и теории потенциальной эффективности.

Флейшман Б.С. в 1947 году окончил механико-математический факультет Московского государственного университета по кафедре теории вероятностей, которую возглавлял академик А.Н. Колмогоров.

После окончания университета был направлен на работу в криптографическую службу Министерства государственной безопасности СССР. После демобилизации в 1954 году вплоть до эмиграции в США в 1996 году работал в институтах Академии Наук СССР и РАН: (1955—1968 гг. в Институте радиотехники и электроники; 1968—1996 гг. в Институте океанологии).

Флейшманом Б.С. написаны 5 монографии. Первая из них А. Е. Башаринов, Б. С. Флейшман, “Методы статистического последовательного анализа и их приложения”, Сов. радио, Москва, 1962. В ней рассматривается оптимальный выбор между двумя гипотезами : классический-Неймана-Пирсона и последовательный – Вальда. Отношение правдоподобия. Оперативная характеристика. Случай близких гипотез. Задание разных порядков малости вероятностей ошибок первого и второго рода, приводящее к неограниченной эффективности последовательного анализа по сравнению с классическим методом. Распределение Вальда. Усечение и группировка. Оптимальная дискретизация. Специальные распределения.

Из 5 монографий, написанных за полвека Флейшманом Б.С., своей фундаментальностью особо выделяется монография «Конструктивные методы оптимального кодирования для каналов с шумами» (И-во АН СССР, Москва, 1963). Монография состоит из двух частей: 1. Аппарат конечной математики; 2. Оптимальное кодирование для каналов с шумами, а также двух Дополнений: 1. Стохастические суммы; 2. Теория осуществимости. Часть 2 целиком посвящена потенциальной помехоустойчивости. Впервые сформулированные достаточные условия оптимальности в смысле Шеннона кодов и статистические методы их декодирования придают конструктивность теории информации, до этого состоявшей из теорем существования. Явная формулировка достаточных условий требует развития нового комбинаторного исчисления (часть 1), позволяющего оценивать пересечения комбинаторных сфер. Этот результат, полученный с помощью вторых производящих функций, является ключевым.

Теория потенциальной эффективности – это синтез теории надежности, теории информации и теории игр, наследница междисциплинарной кибернетики - с той же областью определения (биологические и инженерные системы), но построенная на единой концептуальной и математической основе. Основное понятие – эффективность, обобщая понятия надежности, помехоустойчивости и управляемости, определяется как вероятность достижения цели при ограниченных ресурсах (времени, энергии и т.д.). Фундаментальное понятие - целенаправленный выбор.

Основное требование к моделям - конструктивность (явно указанный способ построения) и вероятностная осуществимость инженерных систем. Впервые сформулирована Б.С. Флейшманом в книге «Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем» (1971г.). Соотношения теории потенциальной эффективности были использованы им для оценки потенциальной эффективности сложных инженерных и экологических систем. В этой монографии приведена классификация систем в порядке нарастания сложности их поведения. Целенаправленный акт решения в выборе альтернатив, присущий по определению сложным системам, отличает их от простых систем, не имеющих такового. Введено фундаментальное понятие (u,v) -обмена системы со средой и общая форма предельного закона. Впервые приводятся предельные законы потенциальной: надежности (логорифмический), управляемости и живучести. Минимизируются: нониусным поиском

неисправных элементов время их поиска, а оптимальным выбором «порогов подозрительности» время различения информационных потоков.

В монографии Б.С. Флейшман «Основы системологии», Радио и связь. Москва, 1982, Дано полное математическое определение основных понятий системологии и их связи между собой. Особо важным для дальнейшего изложение является формулировка принципа объективной телеологии, позволяющего сопоставлением оптимизационных моделей с оригиналом делать объективное заключение о цели последнего.

Особо подчеркивается, что не стохастичность различает сложные системы от простых, а наличие у первых целенаправленного акта решения при выборе альтернатив, которого нет у вторых. В компактной форме излагаются комбинаторные и стохастико-функциональные результаты монографии «Конструктивные методы оптимального кодирования для каналов с шумами» (И-во АН СССР, Москва, 1963), пополненные оценками связности случайных графов. Конструктивные результаты различения сигналов на фоне шумов излагаются в компактной форме асимптотики специальных экстремумов в модели стохастических функций с независимыми переходами. Полученные общие результаты формулируются в широко используемых терминах теорий информации и игр.

Флейшман Б.С. с 1966 г. по 1996 г. был руководителем секции кибернетики и экологических проблем Всесоюзного (Российского) Научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова. В настоящее время он является членом Международного общества анализа риска.

Флейшман Б.С. является автором более 120 научных работ в области кибернетики. Основные его научные результаты опубликованы в пяти монографиях.

Имея много учеников, Бенцион Семенович может быть уверен и спокоен в том, что его теория потенциальной помехоустойчивости находит, и будет находить широкое применение для решения сложных прикладных задач, а также дальше развиваться теоретически в различных направлениях. Высокая эффективность этой теории проявляется при решении задач глобального моделирования процессов эволюции системы человек-природа, когда принятие решения не может быть осуществлено на основе проведения эксперимента. Теория потенциальной эффективности позволяет преодолевать ситуации с наличием неустранимой информационной неопределенности и находить конструктивные решения.

Сердечно поздравляем Бенциона Семеновича с 100 летным юбилеем и желаем ему крепкого здоровья, долгих лет жизни и дальнейших замечательных достижений в области кибернетики.

Ученики: Мкртчян Ферденант Анушаванович, д.ф.-м.н., профессор, Иностраннный член
Национальной академии наук Армении

Амбросимов Альберт Константинович, д.ф.-м.н., профессор

Розенберг Геннадий Самуилович, д.б.н, профессор, член-корр. РАН

Полищук Юрий Михайлович, д.ф.-м.н., профессор

Климов Владимир Валерианович, к.ф.-м.н., доцент

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

**Российского научно – технического общества радиотехники, электроники и связи
им. А.С. Попова**

**Серия: Научные Международные симпозиумы
ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ
Выпуск: XII**

107031, Москва, К-31, ул. Рождественка, д.6/9/20, стр.1

РНТОРЭС им. А.С. Попова

Телефоны:

(910) 422-27-48

(985) 733-91-91

организация

финансы

E-mail:

rntores@mail.ru

vznos-rntores@mail.ru

Сайт: <http://www.rntores.ru>

**Отпечатано по заказу ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН,
РНТОРЭС им. А.С. Попова**

В Типографии Издательства «Манускрипт»

248, г. Калуга, ул. Баженова, 2, тел.(4842) 57-31-87

E-mail: id_manuscript@mail.ru , Сайт: www.id-manuscript.ru

Тираж 300 экз., заказ №