

---

---

## **Инновационная деятельность.**

**2014. № 1 (28). Том 2.**

Научно-аналитический журнал для ученых, производственников, разработчиков новой продукции, инвесторов, властных структур и организаторов инновационной деятельности, зарубежных партнеров

**Издатель:** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

**Главный редактор:**

**Борцов Александр Сергеевич**

Издается с 1997 года

Выходит один раз в квартал

*Март 2014*

*Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых журналов и научных изданий, утвержденный президиумом ВАК Министерства образования и науки РФ, в которых публикуются основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук*

Полная электронная версия журнала размещена в системе РИЦ в открытом доступе на платформе eLIBRARY.RU

---

---

### **РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

**Председатель совета –**

**Борцов А.С.** – д.филос.н., профессор, директор института социального и производственного менеджмента, заведующий кафедрой философии Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

**Члены редакционного совета:**

**Лундвалл Бенгт-Оке** – профессор университета г. Ольбурга, Дания

**Плеве И.Р.** – д.и.н., профессор, ректор Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

**Фатеев М.А.** – Президент торгово-промышленной палаты Саратовской области

### **РЕДКОЛЛЕГИЯ:**

**Зам. главного редактора –**

**Плотников А.Н.** – д.э.н., профессор, заведующий кафедрой «Прикладная экономика и управление инновациями» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

**Сытник А.А.** – д.т.н., профессор, первый проректор Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

**Шевченко С.Ю.** – д.э.н., профессор Санкт-Петербургского государственного экономического университета

**Бочкарев П.Ю.** – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Проектирование технических и технологических комплексов» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

**Печенкин В.В.** – д.социол.н., профессор кафедры «Социальная антропология и социальная работа» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

**Тихомирова Е.И.** – д.биол.н., профессор, заведующая кафедрой «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

**Горячева Т.В.** – к.э.н., доцент кафедры «Прикладная экономика и управление инновациями» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А. (ответственный секретарь)

**Славнецкова Л.В.** – к.э.н., доцент кафедры «Прикладная экономика и управление инновациями» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

***Innovation Activity***  
**2014. № 1 (28). Volume 2**

This scientific and analytical magazine is for scientists, manufacturers, new production developers, investors, authoritative structures, organizers of innovative activities and foreign partners.

**The publisher:** Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

**Editor-in-chief:**

***Borshchov Aleksandr Sergeevich***

Since 1997

Once in a quarter

*March 2014*

*This journal is included into the list of leading reviewed and scientific publications approved by the presidium of ministry of Education and Sciences of Russian Federation where major scientific thesis results for academic degree competition for a doctor and a candidate of sciences*

---

**DRAFTING COMMITTEE:**

***The chairman of committee –***

**Borshchov A.S.** – Doctor of Science in Philosophy, Professor, Director of institute of social and industrial management, Head of the Department of Philosophy of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

***Members of editorial council:***

**Lundvall the Bengt-Ake** – Professor of the Aalborg University, Denmark

**Pleve I.R.** – Doctor of Science in History, Professor, and the Rector of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

**Fateev M.A.** - President of the Chamber of Commerce of the Saratov region

**EDITORIAL BOARD:**

***The deputy editor-in-chief –***

**Plotnikov A.N.** – Doctor of Science in Economics, Professor, Head of the Department of «Applied economy and management of innovations» of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

**Sytnik A.A.** – Doctor of Technical Sciences, Professor, the First Pro-rector of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

**Shevchenko S.Yu.** – Doctor of Science in Economics, Professor of St.-Petersburg State Economy University

**Bochkarev P. Yu.** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Designing of technical and technological complexes» of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

**Pechenkin V.V.** – Doctor of Science in Sociologies, Professor of the Department of «Social anthropology and social work» of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

**Tikhomirova E.I.** – Doctor of Science in Biologics, Professor, Head of the Department of Ecology of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

**Goryacheva T.V.** – Candidate of Science in Economics, Assistant Professor of the Department of «Applied economy and management of innovations» of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A. (executive secretary)

**Slavnetskova L.V.** – Candidate of Science in Economics, Assistant Professor of the Department of «Applied economy and management of innovations» of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Меркулова М.Ю., Тихомирова Е.И., Абросимова О.В.</b> Разработка системы комплексного мониторинга экологического состояния городских урбаноземов с использованием геоинформационных технологий (на примере агломерации Саратов-Энгельс)	5
<b>Трояновская Е.С., Тихомирова Е.И., Абросимова О.В.</b> Эколого-биологическая характеристика почв, экспериментально загрязненных тяжелыми металлами, в процессе очистки с использованием комбинации сорбентов	13
<b>Макарова А.А., Симонова З.А., Тихомирова Е.И., Подольский А.Л.</b> Инновационный подход к формированию самостоятельной работы студентов по направлению подготовки 022000 «Экология и природопользование»	21
<b>Веденеева Н. В., Заматырина В. А., Тихомирова Е. И., Истрашкина М.В., Анохина Т. В., Бобырев С.В.</b> Инновационные методы очистки поверхностных и сточных вод с использованием наноструктурированных сорбентов	26
<b>Подольский А.Л.</b> Использование моделей популяционной динамики для оценки экологического состояния популяции птиц с целью выработки эффективных природоохранных стратегий	33
<b>Смилевец О.Д., Шардаков А.К.</b> Применение методов геофизики при изучении верхней части разреза многолетнемерзлых пород для проектирования автомобильных дорог	43
<b>Тихомирова Е.И., Подольский А.Л., Лобачев Ю.Ю.</b> Эколого-физиологическое состояние почв особо охраняемой природной территории «Кумысная поляна»	53
<b>Фомина А.А.</b> Аккумуляционная способность рогоза узколистного ( <i>TYRNAANGUSTIFOLIAL.</i> ) по отношению к тяжелым металлам	59
<b>Для авторов</b>	64

## CONTENTS

<b>Merkulova M.Yu., Tichomirova E.I., Abrosimova O.V.</b> Develop an integrated environmental monitoring urban urbanozem using geographic information technologies (on the example of sintering the Saratov-Engels)	5
<b>Troyanovskay E.S., Tichomirova E.I., Abrosimova O.V.</b> Ecological and biological soil characteristics experimental heavy metal pollution in the cleaning process using a combination of sorbents	13
<b>Makarova A.A., Simonova Z.A., Tikhomirova E.I., Podolsky A.L.</b> Innovative approach to formation of student independent work, specialization in 022000 «Ecology and nature management»	21
<b>Vedeneeva N.V., Zamatyrina V.A., Tikhomirova E.I. Istrashkina M.V., Anohina T.V., Bobyrev S.V.</b> Innovative methods for cleaning the surface and waste water using nanostructured sorbents	26
<b>Podolsky A.L.</b> Ecological assessment of bird populations using modeling of their population dynamics as a means for the development of efficient conservation management strategies	33
<b>Smilevets O.D., Shardakov A. K.</b> Application of methods of geophysics when studying the top part of mnogoletnemerzlykh coal mine of breeds for desing of highways	43
<b>Tikhomirova E.I., Podolsky A.L., Lobachev Yu.Yu.</b> Ecophysiological conditions of soil in the natural protected area «Kumysnaya polyana»	53
<b>Fomina A.A.</b> Accumulation ability of cattails ( <i>TYPHA ANGUSTIFOLIA L.</i> ) towards heavy metals	59

УДК 504.064.2

**М.Ю. Меркулова, Е.И. Тухомирова, О.В. Абросимова**

**M.Yu. Merkulova, E.I. Tichomirova, O.V. Abrosimova**

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ УРБАНОЗЕМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ АГЛОМЕРАЦИИ САРАТОВ-ЭНГЕЛЬС)**

## **DEVELOP AN INTEGRATED ENVIRONMENTAL MONITORING URBAN URBANOZEM USING GEOGRAPHIC INFORMATION TECHNOLOGIES (ON THE EXAMPLE OF SINTERING THE SARATOV-ENGELS)**

*Изучена биологическая и ферментативная активность, микробный состав почв различных функциональных зон городов Саратова и Энгельса. Проведен сравнительный анализ экологических показателей состояния исследуемых почв с разной степенью антропогенной нагрузки. Построены карты экологического состояния урбанизированных территорий. Предложена система комплексного мониторинга состояния городских почв для оценки степени антропогенного воздействия и прогнозирования экологической ситуации.*

*Studied biological and enzymatic activity, microbial composition of soils of different functional areas of Saratov and Engels. A comparative analysis of the environmental indicators of the investigated soils with varying degrees of anthropogenic load. The maps of the ecological state of urban soils. The system of comprehensive monitoring of the state of urban soils to assess the extent of human influence and predict the ecological situation in the cities.*

Почвенный покров, биологическая активность почв, эколого-физиологические группы микроорганизмов, ферментативный анализ, картографирование почв городских территорий

Soil cover, soil biological activity, ecological and physiological groups of microorganisms, enzymatic analysis, mapping of soils in urban areas

---

---

Почва является сложной природной системой, способной преобразовывать минеральный и органический субстрат. От сохранения и поддержания природных экологических свойств городских почв во многом зависит экологическое благополучие города, и, следовательно, состояние здоровья городского населения [7, 12]. Поэтому одной из актуальных современных проблем в области прикладной экологии является совершенствование системы мониторинга и прогнозирования состояния почв различных функциональных зон городов.

отличаются от естественных (природных) по физическим и химическим свойствам. Они переуплотнены, почвенные горизонты перемешаны и обогащены строительным мусором, бытовыми отходами, отличаются также и высокой контрастностью, неоднородностью из-за сложной истории развития города и наличием в них максимально разнообразной инфраструктуры [1, 6, 7, 12].

Проблемы урбанизации и экологической безопасности, ухудшение качества жизни городов с антропогенно нарушенными территориями в настоящее время приобрели глобальный характер. В поволжских городах

состояние окружающей среды характеризуется как кризисное и требующее мер по улучшению экологического состояния [2, 4, 6].

Экологические риски и напряженная экологическая обстановка в наиболее развитых промышленных городах Саратовской области связаны с функционированием значительного количества экологически опасных производств, АЭС, наличием объектов хранения опасных отходов [4].

Города Саратов и Энгельс - крупные центры химической, нефтеперерабатывающей, оборонной промышленности и стройиндустрии. Рост производства, большая индустриальная нагрузка на окружающую среду, высокая плотность населения – все это предопределяет возрастающую экологическую напряженность в городах [6].

Рассматриваемые города близко расположены и тесно связаны транспортными магистралями и сходной инфраструктурой, что позволяет говорить о наличии агломерации гг. Саратова и Энгельса. Эти города испытывают неодинаковую антропогенную нагрузку вследствие разного количества функционирующих промышленных предприятий и автотранспорта на городских автомагистралях.

Ежегодный мониторинг состояния урбаноземов и городских ландшафтов проводится с целью оценки степени антропогенной нагрузки и определения зон повышенного экологического риска населения городов. Для получения наглядной картины распределения антропогенной нагрузки по функциональным зонам городов перспективно использование современных геоинформационных технологий, позволяющих осуществить картографическую привязку результатов разнонаправленных исследований во взаимосвязи и с высокой степенью достоверности.

Учитывая актуальность исследований в этом направлении, целью нашей работы было проведение и обоснование системы комплексного мониторинга состояния урбаноземов агломерации гг. Саратова и Энгельса, и оценки степени их антропогенной нагрузки с использованием ГИС-технологий.

#### Материалы и методы

В работе использовали общепринятые методы экологических, лабораторно-аналитических, микробиологических, биохимических методов оценки состояния почв. Отбор проб почв [5] проводили в разных функциональных зонах городских территорий (на крупных автомобильных развязках, около промышленных предприятий, в парковых и селитебных зонах) в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 [3] в летний период 2013-2014 гг. со строгой картографической привязкой к местности [8]. В качестве контроля использовали пробы, собранные в районе с. Александровка Саратовского района и пос. Новопушкинское Энгельсского района, на территориях с наименьшей степенью антропогенной нагрузки. Исследованы образцы почвы из 21 места отбора проб на территории г. Саратова (рисунок 1) и из 17 - в г. Энгельсе (рисунок 2).

Лабораторно-аналитические исследования проводили на базе НОЦ "Промышленная экология" кафедры «Экология» СГТУ имени Гагарина Ю.А. и в аккредитованной испытательной лаборатории "ЭкоОС" СГТУ на поверенном оборудовании с использованием стандартных и аттестованных методик в 3-х кратных повторностях.

Определяли уровень почвенного "дыхания", как интегрального показателя биологической активности почв по методике стационарного изучения почв [9].

Оценивали активность почвенных ферментов разных групп: оксидоредуктазной - каталазы, сульфитоксидазы и дегидрогеназы, гидролазной - целлюлазы (гликозил-гидролазы), уреазы (амидогидролазы) и фосфатазы (фосфогидролазы) [11].

Исследовали качественный и количественный состав основных физиологических групп микроорганизмов в почвенных образцах по общепринятым методикам [10]. Почвенные взвеси в разведениях высевали на селективные и дифференциально-диагностические питательные среды. Учитывали рост гетеротрофных бактерий - на ГРМ-среде, актиномицетов – на крахмально-аммиачном агаре, микромицетов – на среде Чапека, азотфиксирующие микроорганизмы учитывали по росту на среде Эшби [10].



**Рис. 1. Схема расположения мест отбора проб почв на территории г. Саратова**



**Рис. 2. Схема расположения мест отбора проб почв на территории г. Энгельса**

Для всех определенных параметров рассчитывали интегральный показатель биологического состояния - ИПБС [7] с учетом соответствующих данных для образцов почв контрольных территорий. Для его расчета показатели данных на территории, являющейся контролем, брали за 100% и по отношению к ней исследовали отобранные образцы почв в каждом эксперименте, затем определяли общий ИПБС по всем экспериментам почвенного покрова отдельных функциональных зон городских территорий и для каждого из городов в целом.

Для наглядного представления состояния урбанизированных территорий в качестве инструментального средства использовали геоинформационную программу (MapInfo) и геоинформационные технологии: векторизацию растровых карт исследуемых территорий; наложение растровых карт на рельеф для наглядного представления картографической информации. Все полученные результаты обрабатывали статистически с использованием стандартных методов для экологических и биологических данных [9].

**Таблица 1**

**Оценка интегрального показателя биологического состояния почв по микробиологическим и биохимическим показателям г. Саратова за летний период 2013-2014 гг.**

№ пробы	Гетеротрофы	Актиномицеты	Микромицеты	Азотфиксирующие м/о	Каталаза	Дегидрогеназа	Инвертаза	Скорость изменения pH	Уреаза	Сульфитоксидаза	Фосфагаза	«Дыхание» почв»	ИПБС общий
Контроль	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	<b>100</b>
Промзоны													
6	116	32	31	105	20	51	72	65	58	75	53	5	57
7	85	46	107	137	5	90	60	91	88	87	71	7	73
11	13	57	19	106	25	151	14	82	75	87	78	2	59
13	27	79	62	78	35	454	62	82	58	62	78	0	<b>90</b>
19	97	85	108	62	45	90	39	100	54	62	31	17	66
21	12	122	18	66	45	84	14	91	60	8	12	3	51
Парковые и селитебные зоны													
5	22	12	22	37	10	36	72	65	64	87	93	5	44
9	79	72	92	9	5	339	18	65	60	62	7	2	67
15	28	73	44	91	20	48	72	73	75	87	31	1	54
16	21	79	40	19	45	51	31	91	50	75	21	23	45
20	13	95	25	28	45	151	10	73	60	75	28	2	50
22	14	149	22	34	15	84	31	91	60	62	12	1	48
24	73	76	73	128	50	151	33	82	40	50	40	2	66
25	15	91	19	21	50	48	72	65	45	62	59	19	47
Автомобильные перекрестки (авторазвязки)													
8	24	23	32	36	10	57	41	65	79	100	246	12	60
10	18	59	34	52	55	48	18	65	62	75	21	7	43
12	84	77	82	101	35	163	45	73	76	75	309	2	<b>93</b>
14	44	41	62	70	5	48	64	91	59	50	46	1	48
17	63	51	115	34	35	90	60	100	56	62	46	21	61
18	30	66	35	35	25	84	27	82	52	62	15	21	45
23	14	68	17	105	30	81	31	65	55	75	15	25	48

### Результаты и обсуждения

В процессе комплексного мониторинга урбаноземов агломерации гг. Саратова и Энгельса были исследованы пробы из разных функциональных зон городских территорий (на крупных автомобильных развязках, в районах промышленных предприятий, в парковых и селитебных зонах) по 12 показателям. В таблицах 1 и 2 представлены данные микробиологического анализа 4 групп микроорганизмов (гетеротрофов, актиномицетов, микромицетов и азотфиксирующих микроорганизмов), 6 групп ферментов (каталазы, дегидрогеназы, инвертазы, уреазы, сульфитоксидазы и фосфатазы), биохимических показателей -

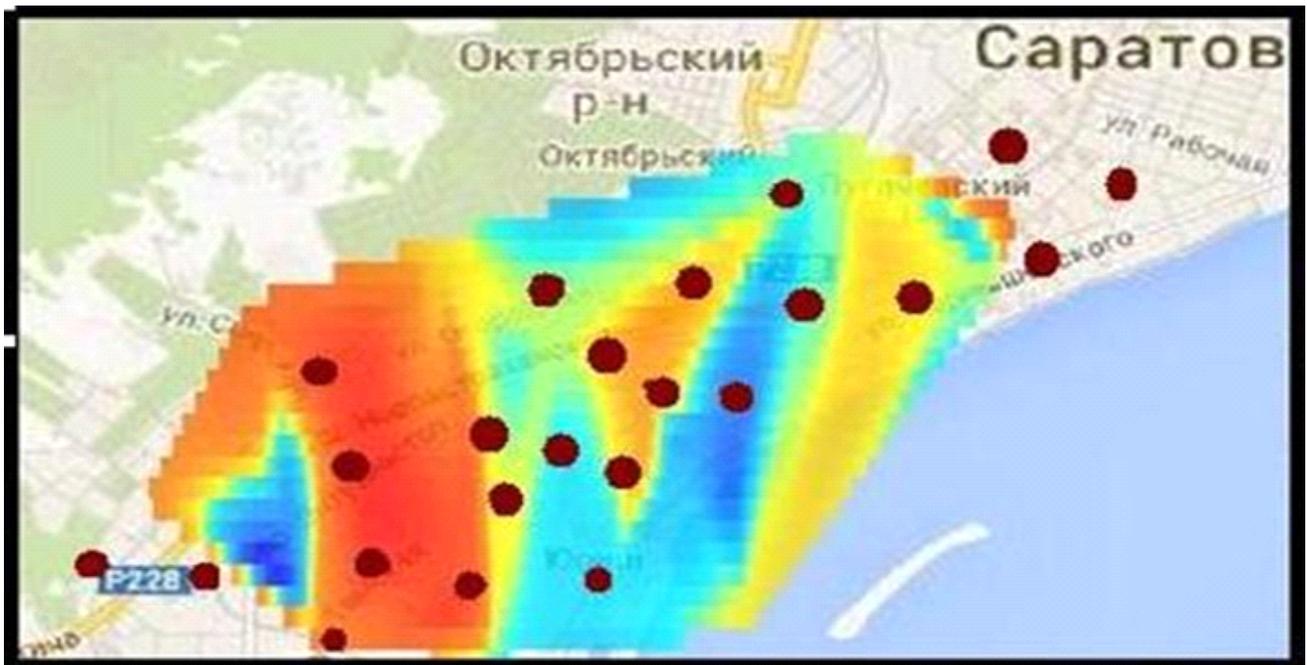
количества углекислоты в почвенном покрове и скорости изменения рН почв, а также общий ИПБС по всем 12-ти показателям (в процентном содержании по отношению к данным контрольных участков) за летний период 2013-2014 гг.

Низкие значения изученных показателей оказались характерными почти для всех исследованных проб образцов почв г. Саратова, особенно для территорий сильно загруженных автомагистралей и жилых застроек. В зонах действующих промышленных предприятий также отмечено сильное снижение интегрального показателя состояния почв по сравнению с контрольными значениями. Однако, в связи с озеленением санитарно-

**Таблица 2**

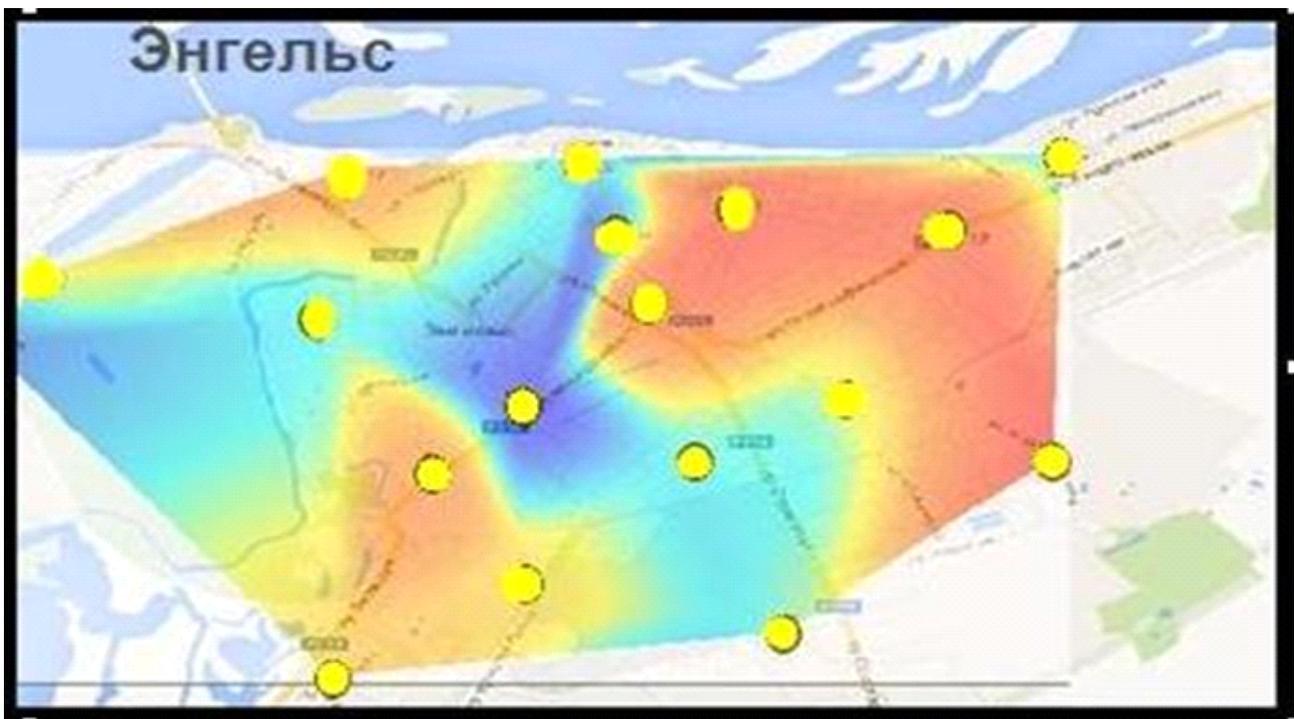
**Оценка интегрального показателя биологического состояния почв г. Энгельса по микробиологическим и биохимическим показателям за летний период 2013-2014 гг.**

№ пробы	Гетеротрофы	Актиномицеты	Микромицеты	Азотфиксирующие м/о	Каталаза	Дегидрогеназа	Инвертаза	Скорость изменения рН	Уреаза	Сульфитоксидаза	Фосфатаза	«Дыхание» почв»	ИПБС общий
Контроль	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	<b>100</b>
<b>Промзоны</b>													
5	95	65	95	75	66	76	67	82	35	85	223	35	<b>83</b>
6	100	76	111	76	83	92	84	91	44	100	233	35	<b>93</b>
10	97	70	142	59	50	81	49	82	37	85	147	28	<b>81</b>
<b>Парковые и селитебные зоны</b>													
1	39	45	49	33	22	50	49	73	30	100	90	0	47
2	59	39	58	37	27	59	54	73	43	100	185	28	60
3	64	38	68	41	72	71	60	82	31	100	180	28	65
7	98	47	106	56	88	85	92	91	48	142	152	28,	<b>84</b>
8	68	62	92	41	55	71	47	82	41	85	142	28	67
9	65	39	64	42	66	79	50	82	50	100	142	28	64
11	95	79	127	75	55	67	39	82	53	114	171	35	<b>87</b>
12	67	36	79	53	94	90	64	91	62	100	119	28	<b>70</b>
13	71	27	74	43	61	60	62	82	48	142	138	28	66
15	92	45	112	68	94	89	81	91	43	85	228	35	<b>86</b>
<b>Автомобильные перекрестки (авторазвязки)</b>													
4	50	52	67	64	55	70	62	82	34	114	166	28	67
14	98	52	118	70	55	75	56	82	76	85	185	35	<b>83</b>
16	62	21	63	44	88	92	94	91	50	85	152	28	66
17	42	25	56	40	72	73	73	82	55	71	266	28	65



Примечание: ■ - участки с увеличенной степенью антропогенной нагрузки на территорию;  
■ - участки с низкой степенью антропогенной нагрузки на территорию;  
■ и ■ - переходные зоны со средней степенью антропогенной нагрузки

**Рис. 3. Анализ экологического состояния почвенного покрова г. Саратова на основе данных общего ИПБС почвенного покрова**



Примечание: ■ - участки с увеличенной степенью антропогенной нагрузки на территорию;  
■ - участки с низкой степенью антропогенной нагрузки на территорию;  
■ и ■ - переходные зоны со средней степенью антропогенной нагрузки

**Рис. 4. Анализ экологического состояния почвенного покрова г. Энгельса на основе данных общего ИПБС почвенного покрова**

защитных зон вокруг этих объектов, данные исследований состояния почв были выше, по сравнению с аналогичными результатами для почв других функциональных зон. Самые высокие показатели были в пробах почв с территории городского парка, что связано с наличием большого количества зеленых насаждений, являющихся аккумуляторами различных загрязняющих веществ.

В таблице 2 представлены данные расчета интегрального показателя биологического состояния почв г. Энгельса. На основании полученных результатов, можно сделать заключение о том, что территория, и соответственно, урбаноземы г. Энгельса, подвергаются меньшему антропогенному воздействию, чем в г. Саратове. Для всех функциональных зон города установлены более высокие значения ИПБС для почв по сравнению с контрольными значениями. Сильный антропогенный пресс испытывают только авторазвязки города, что связано с увеличением транспортного потока.

Для наглядного представления степени антропогенного влияния на почвы городских территорий были построены карты с отражением участков сильной, средней и низкой степени антропогенной нагрузки на основании полученных значений ИПБС (рис. 3 и 4).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абросимова О.В. Оценка экологического неблагополучия урбосистем на основе данных мониторинга снежного и почвенного покровов (на примере г. Саратова) / О.В. Абросимова, М.А. Быкова, М.Ю. Меркулова, Е.И. Тихомирова // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2013. № 1 (73) Т. 4. С. 239-244.
2. Быкова М.А. Комплексная оценка состояния окружающей среды г. Саратова по данным химического и микробиологического загрязнения / М.А. Быкова, О.В. Абросимова, Е.И. Тихомирова, А.А. Макарова // Фундаментальные исследования. 2012. № 5. С. 133-137.
3. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы.

При сравнительной оценке построенных карт экологического состояния городских территорий гг. Саратова и Энгельса можно сделать вывод, что в Энгельсе отсутствуют территории с увеличенной степенью антропогенной нагрузки, в отличие от г. Саратова, где выявлен участок крупной авторазвязки, испытывающий сильный антропогенный пресс со стороны общественного и личного автотранспорта.

Таким образом, проведение исследований почвенных образцов в разных функциональных зонах городских территорий показало, что микробиологический и биохимический анализ почвенной среды может являться вполне информативным для оценки степени их антропогенной нагрузки. По картам экологического состояния почвенного покрова крупных промышленных центров на примере агломерации гг. Саратов-Энгельс, можно выявлять проблемные участки различных городских функциональных зон, на которые необходимо обратить внимание в первую очередь для улучшения экологической обстановки в городе.

Представление данных, обработанных с использованием новых геоинформационных технологий, позволяет не только рассчитывать экологические риски населения, но и обосновывать адекватные мероприятия по реабилитации и рациональному использованию территорий.

## REFERENCES

1. Abrosimova O.V. Evaluation of ecological problems with urban systems based on the snow and soil data monitoring in Saratovcity / O.V. Abrosimova, M.A. Bikova, M. Yu. Merkulova, E.I. Tikhomirova // Vestnik SGTU. 2013. № 1 (73). P. 239-244.
2. Bykova M.A. Integrated assessment of the State of the Environment in the city of Saratov based on Chemical and Microbiological contamination /M.A. Bykova, O.V. Abrosimova, E.I. Tikhomirova, A.A. Makarova // Fundamental Research. 2012. № 5. P. 133-137.
3. Standard 17.4.3.01-83. The Nature Conservancy. Soil. General requirements for sampling. Enter. 1983 -12 - 21. M.: Publishing House of Standards, 2004. 2-4 p.

Почвы. Общие требования к отбору проб. - Введ. 1983 -12 - 21. - М.: Изд-во стандартов, 2004. С. 2-4.

4. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2008 году. Саратов, 2009. 320 с.

5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. - М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

6. Захарченко Е.С. Экологические аспекты функционирования кластеров в Саратовской области // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. № 1.(Т.2). С. 231-235.

7. Казеев К.Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований /К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, В.Ф. Вальков. Ростов н/Д: Изд-во Рост.ун-та, 2003. 204 с.

8. Ларионов М.В. Оценка экологического состояния городской среды в среднем и нижнем Поволжье методом экологического картографирования //Достижения вузовской науки. 2012. №1. С.31-36.

9. Методы стационарного изучения почв. - М.: Наука, 1977. 152 с.

10. Тетпер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Тетпер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. 5-е изд. М.: Дрофа, 2004. 256 с.

11. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.:Наука, 2005. 252 с.

12. Федорец Н.Г. Методика исследования почв урбанизированных территорий / Н.Г. Федорец, М.В. Медведева. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.

4. Report on the state and protection of the environment of the Saratov region in 2008. - Saratov, 2009. 320 p.

5. Dosphehov B.A. The technique of field experience - M.: Agropromizdat, 1985. 351 p.

6. Zakharchenko E.S. Environmental aspects of the clusters in the Saratov region / E.S. Zaharchenko // Bulletin of Saratov State Technical University. 2010. № 1. (v.2). P. 231-235.

7. Kazeev K.S. Laboratory diagnosis and indication of soil: methodology and research methods / K.S. Kazeev, S.I. Kolesnikov, V.F. Val'kov. - Rostov n/D: Publishing House of growth. University Press, 2003. 204 p.

8. Larionov M.V. Mikhail Evaluation of the ecological state of the urban environment in the Middle and Lower Volga by ecological mapping / M.V. Larionov // Achievements of university research. 2012. №1. P.31-36.

9. The method of stationary studying soils. - M.: Nauka, 1977. 152 p.

10. Tepper E.Z. Workshop on microbiology / E.Z. Tepper, V.K. Shilnikova, G.I. Pereverzev. - 5th ed. M.: Bustard, 2004. 256 p.

11. Khaziev F.H. Methods of soil enzymology / F.H.Khaziev. - Moscow: Nauka, 2005. 252 p.

12. Fedoretc N.G. Technique to study soil urbanized areas / N.G.Fedoretc, M.V. Medvedev. - Petrozavodsk: Karelian Research Centre, 2009. 84 p.

---

**Меркулова Мария Юрьевна** – аспирант кафедры «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Тихомирова Елена Ивановна** – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

**Абросимова Ольга Владимировна** – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

---

**Merkulova Mariya Yu.**— postgraduate student of the Department of «Ecology» of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

**Tikhomirova Elena I.** – Doctor of Science in Biologics, Professor, Head of the Department of «Ecology» of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

**Abrosimova Olga V.** – Candidate of Science in Biologics, Assistant Professor of the Department of «Ecology» of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

---

УДК 504.064.2

Е.С. Трояновская, Е.И. Тихомирова, О.В. Абросимова

E.S. Troyanovskaya, E.I. Tikhomirova, O.V. Abrosimova

## ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ, В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНАЦИЙ СОРБЕНТОВ

### ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL SOIL CHARACTERISTICS EXPERIMENTAL HEAVY METAL POLLUTION IN THE CLEANING PROCESS USING A COMBINATION OF SORBENTS

*Представлены результаты лабораторных исследований биологической активности разных типов почв, экспериментально загрязненных 100 ПДК тяжелых металлов. Дана оценка активности почвенного дыхания, качественного и количественного состава микробоценозов, токсичности и остаточного содержания тяжелых металлов в течение 30 суток. Доказана эффективность использования комбинаций природных сорбентов для снижения токсичности и улучшения биологических свойств почв, загрязненных тяжелыми металлами.*

*The goal of our study was in vitro evaluation of the ecological state of different types of soils contaminated experimentally 100 MAC heavy metals. We assessed the ecological condition of soil respiration, qualitative and quantitative composition of microbial toxicity and residual heavy metal content for 30 days. The efficiency of the use of combinations of natural sorbents to reduce toxicity and improve the biological properties of soils contaminated with heavy metals.*

Почва, биологические свойства почв, микробоценозы, тяжелые металлы, токсичность, сорбенты, технологии очистки почв

Sorbents, soils, pollution, heavy metals, toxicity, bioassay, microbial communities

---

Почвенный покров является саморегулирующейся биологической системой, важнейшей частью биосферы в целом [3, 6, 9]. Среди множества техногенных факторов, отрицательно воздействующих на почвенный покров, особое место занимает загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ), такими как цинк, свинец, кадмий [10]. В этой связи особенно остро стоит вопрос о способах очистки почв от ТМ. Знание особенностей воздействия химических веществ на биологические процессы в почве и механизмов устойчивости почв и растений к загрязнению должно стать основой для разработки методов предотвращения негативных последствий загрязнения [8].

По вопросу санации почв, загрязненных ТМ, существует два основных подхода. Первый направлен на очищение почвы от ТМ путем

промывок, извлечения ТМ из почвы с помощью растений, удаления верхнего загрязненного слоя почвы и т.п. Второй подход основан на закреплении ТМ в почве, переводе их в нерастворимые в воде и недоступные живым организмам формы. Для этого предлагается внесение в почву органического вещества, фосфорных минеральных удобрений, ионообменных смол, природных цеолитов, бурого угля, известкование почвы и т.д. Однако любой способ закреплении ТМ в почве имеет свой срок действия. Рано или поздно часть ТМ снова начнет поступать в почвенный раствор, а оттуда в живые организмы [4].

В связи с вышесказанным представляло интерес провести исследования в лабораторных условиях по оценке экологического состояния разных типов почв, загрязненных тяжелыми металлами, в процессе

ремедиации с использованием комбинаций сорбентов.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись разных типы почв, отобранные в соответствии с ГОСТ 28168-89 [5]. Чернозем типичный отбирали в Балашовском районе, каштановую почву - в Питерском районе Саратовской области. Дерново-подзолистую почву получили с полей Одинцовского района Московской области. На отобранные типы почв были оформлены агрохимические паспорта.

Исследования проводились на базе НОЦ "Промышленная экология" кафедры экологии СГТУ имени Гагарина Ю.А. в весенне-летний период в статических условиях с использованием метода вегетационных сосудов [2]. Почву после просеивания помещали в пластиковые контейнеры и содержали при температуре воздуха 22-25<sup>o</sup>C и относительной влажности воздуха 30-45%. Для обеспечения 60% влажности проводили увлажнение почвы при равномерном поливе; количество воды рассчитывали с учетом влагопотребления конкретного типа почв. На каждый загрязнитель (ТМ) делали 9 закладок по 3 кг почвы каждого типа (Пч, Пк, Пд-п).

В качестве загрязнителей были использованы водорастворимые соли ТМ: сульфат никеля ( $Ni_2SO_4 \times 7H_2O$ ), сульфат цинка ( $ZnSO_4$ ), сульфат кадмия ( $3CdSO_4 \times 8H_2O$ ) и ацетат свинца ( $Pb(CH_3COO)_2 \times 3H_2O$ ). Количество солей ТМ ([С]) рассчитывали на количество почвы и вносили в виде раствора. Затем в течение семи суток почвы выдерживали при фиксированной температуре для обеспечения процесса "старения". Навески сорбентов (косточковый активированный уголь - КАУ, вермикулит и клиноптилолит) вносили в сухом виде в соответствующей расчетной дозе равномерно на всю поверхность почвы и производили рыхление на всю глубину вегетационного сосуда. В качестве контроля 1 (К1) использовали пробы исходных чистых почв; в качестве контроля 2 (К2) - пробы всех типов загрязненных почв без внесения сорбентов. Образцы почвы для лабораторно-аналитических исследований отбирали на 7, 14 и 30 сутки от момента загрязнения. Лабораторно-аналитические исследования

выполнены с использованием общепринятых в экологии, почвоведении и микробиологии методов.

Контроль остаточной концентрации ТМ в почве проводили в соответствии с методическими указаниями и РД (СанПиН 42-128-4433-87; ГОСТ 28168-89; РД 52.18.289-90), а также методом пламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии в соответствии с ПНД Ф 14.1:2.214-06. Исследование выполняли на атомно-абсорбционном спектрофотометре марки WFX-120. Водородный показатель определяли потенциометрическим методом при помощи рН-метра марки рН-150МП.

"Дыхание" почв определяли с использованием в качестве поглотителя  $CO_2$  0,1 н. раствор NaOH. С помощью экспресс-метода [1] измеряли скорость разложения в почве мочевины.

Биотестирование почвенных проб осуществляли по стандартным методикам с помощью тест-объектов, принадлежащих к разным систематическим группам: *Chlorella vulgaris* Beijer (ФР.1.39.2004.01143) [11], *Daphnia magna* Straus (ПНД Ф 14.1:2:4.12-06) [12]. Для получения сопоставимых результатов по итогам тестирования рассчитывали индекс токсичности оцениваемого фактора (ИТФ) по Кабирову (1997).

Численность в почве бактерий, актиномицетов и микроскопических грибов определяли методом посева почвенной суспензии на плотные питательные среды [7]. Результаты оценивали по количеству колониеобразующих единиц (КОЕ) на чашках Петри и производили перерасчет на 1 г почвы [13]. Все данные представлены в пересчете на массу абсолютно сухой почвы в 9-кратной повторности (3 навески каждого типа почвы на 3 чашки Петри каждой среды). Результаты исследования были обработаны статистически с использованием стандартных методов в биологических исследованиях.

Полученные результаты и их обсуждение.

В контрольных пробах загрязненных почв на протяжении 30 суток наблюдения выявлено стабильно высокое присутствие ионов ТМ по данным химико-аналитических исследований.

---

Сравнительный анализ динамики содержания ионов ТМ в экспериментальных пробах почв показал снижение их содержания на 7 сутки после внесения всех композиций сорбентов в среднем на 50 %, через 14 суток - на 75-80 %. К 30-м суткам в большинстве загрязненных проб почв отмечены остаточные количества ТМ в пределах 1 ПДК и ниже. Анализ содержания ТМ в пробах почв с использованием различных комбинаций сорбентов позволил установить, что для почв, загрязненных никелем, более эффективной оказалась композиция сорбентов КАУ+вермикулит, при загрязнении другими металлами - КАУ+ клиноптилолит. Динамика остаточного содержания ТМ в разных типах почв свидетельствовала о высокой эффективности использования сорбционной технологии в процессе ремедиации загрязненных почв [14].

Оценка токсичности проб почв методами биотестирования с использованием хлореллы и дафний выявила высокую токсичность контрольных (100 ПДК ТМ) проб почв до 30-х суток исследования. В пробах почв, содержащих различные композиции сорбентов, токсичность сохранялась в на 7 сутки ремедиации, на 14 сутки - только в пробах всех типов почв, загрязненных кадмием, и в отдельных пробах чернозема типичного и каштановой почвы, загрязненных цинком и свинцом. На 30-е сутки все экспериментальные пробы почв были не токсичными (рис. 1).

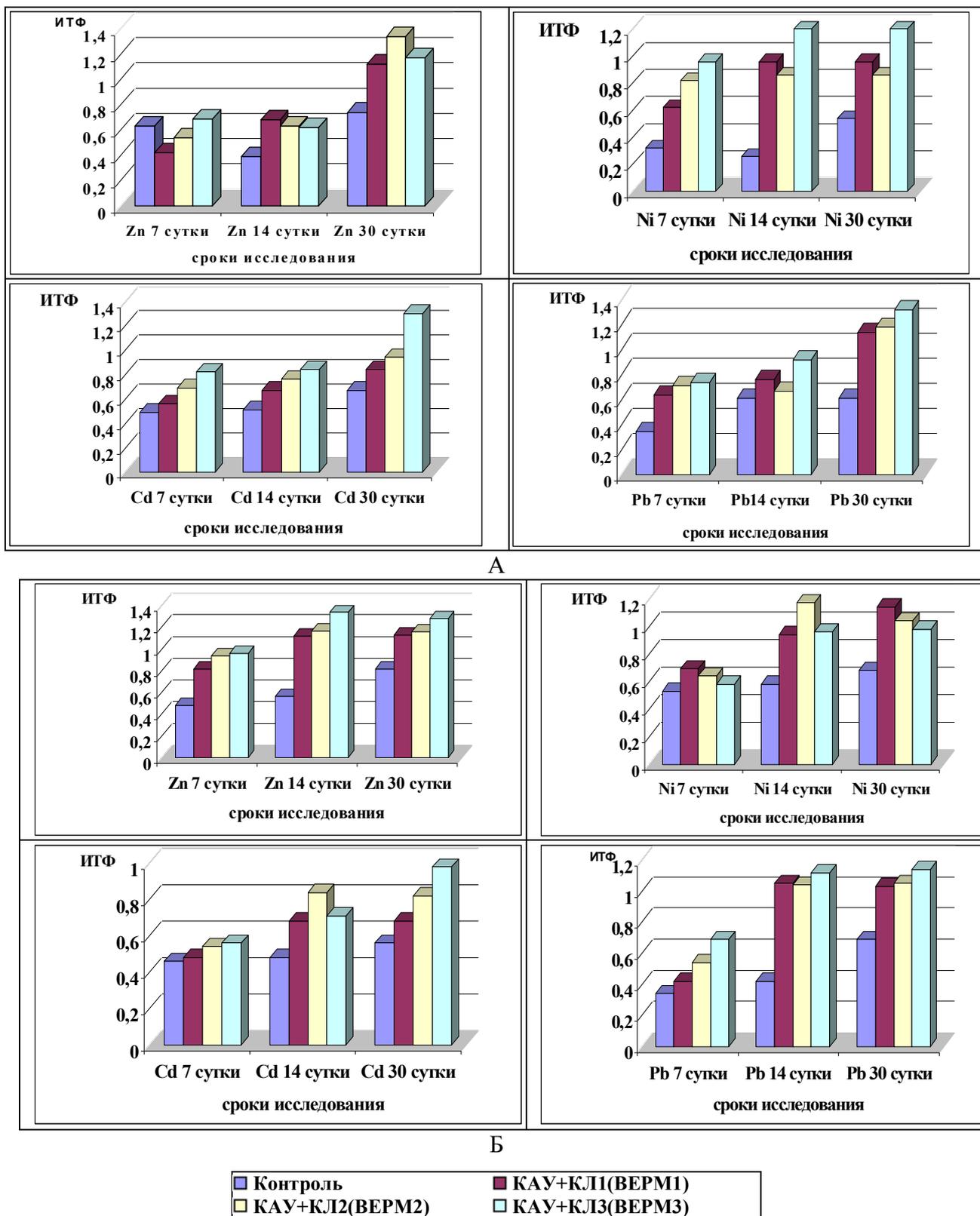
Оценивали активность почвенного дыхания, как интегративного показателя биологической активности почв, в пробах разных типов почв, загрязненных ТМ. Установлено существенное снижение почвенного дыхания в контрольных пробах всех типов почв, содержащих 100 ПДК ТМ, и повышение его активности в экспериментальных пробах почв в процессе ремедиации. На уровне почвенного дыхания исходных незагрязненных проб почв (К1) были значения в экспериментальных пробах чернозема и каштановой почв с сорбентами уже к 14 суткам, что можно объяснить высоким изначальным содержанием гумуса, стимулирующим физиологическую активность гетеротрофных бактерий. К 30 суткам исследований во всех пробах почв с

сорбентами восстанавливалась активность почвенного дыхания.

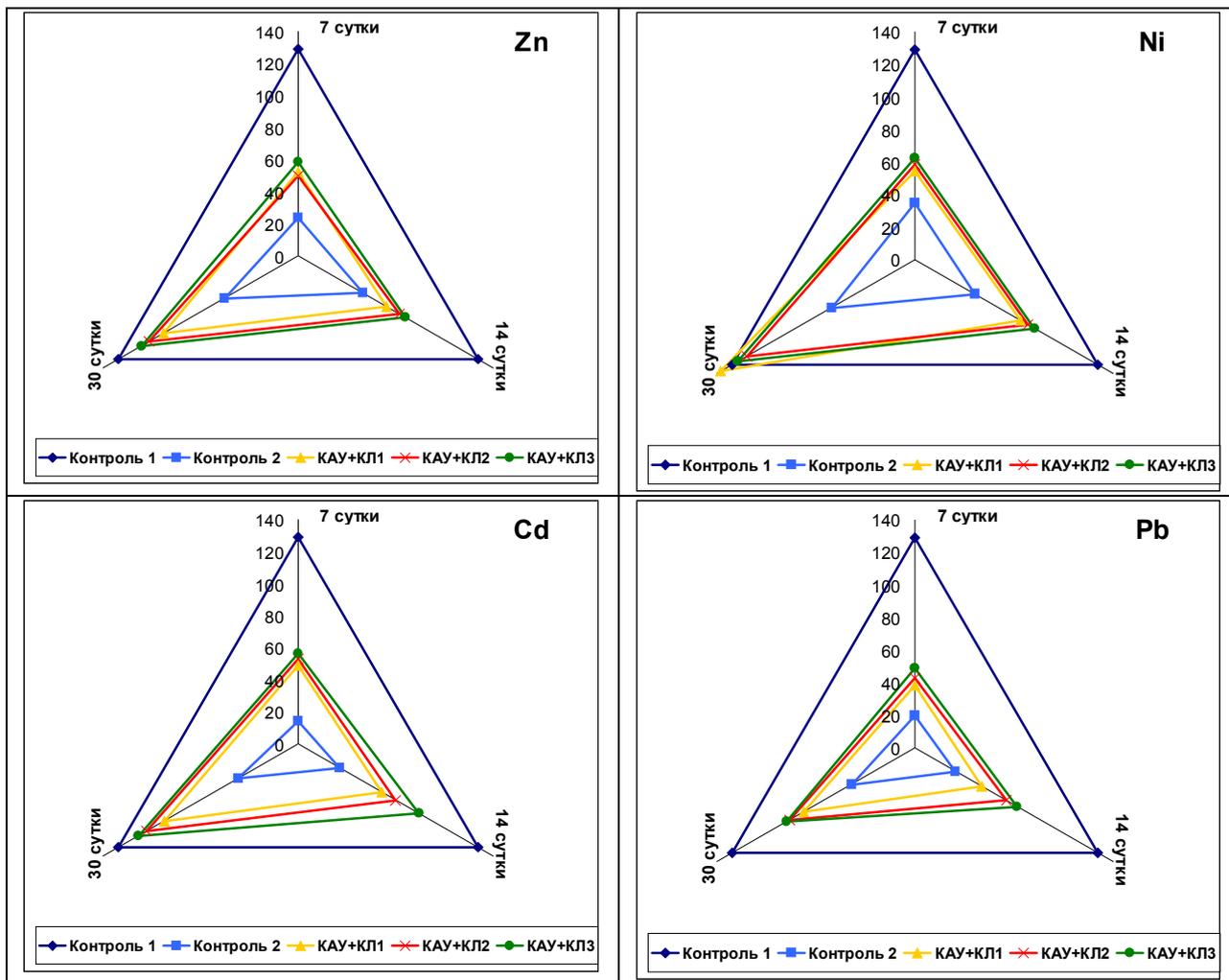
Количественный анализ микробного состава экспериментальных проб почв, загрязненных ТМ, в процессе ремедиации позволил выявить закономерности изменений в зависимости от типа почв и комбинаций сорбентов. В пробах почв чернозема типичного отмечено восстановление уровня численности гетеротрофных бактерий в экспериментально загрязненных пробах на 30 сутки процесса ремедиации (рис. 2), за исключением проб почв, загрязненных свинцом. Динамика изменений содержания гетеротрофных бактерий в процессе ремедиации загрязненных проб каштановой и дерново-подзолистой почв была сходной. Отмечено постепенное восстановление уровня их численности к концу срока наблюдения и более низкие значения на 14 сутки по сравнению с показателями в пробах чернозема типичного.

При исследовании почв на наличие дрожжеподобных грибов было отмечено достаточно высокое их содержание в изначальном отобранных пробах (К1). Динамика изменений содержания дрожжеподобных грибов в разных типах загрязненных почв была сходной. Отмечено, что после внесения в почву 100 ПДК ТМ происходит резкое снижение количества дрожжеподобных грибов. Однако, далее в процессе ремедиации с использованием различных комбинаций сорбентов, их содержание постепенно восстанавливается. В пробах почв, загрязненных цинком, при использовании комбинаций сорбентов количество дрожжеподобных грибов даже увеличилось. В пробах загрязненной почвы без внесения сорбентов (К2), было отмечено незначительное увеличение количества этих микроорганизмов к концу срока наблюдения.

Аналогичная ситуация отмечена и для актиномицетов в загрязненных экспериментальных пробах почв в процессе ремедиации с использованием комбинаций сорбентов.



**Рис.1. Динамика индексов токсичности проб почвы чернозема типичного (А) и каштановой почвы (Б), загрязненных тяжелыми металлами, в процессе ремедиации различными композициями сорбентов (норма - значения ИТФ в диапазоне 0,91-1,10)**



**Рис. 2. Численность гетеротрофных бактерий в пробах почв чернозема типичного, загрязненного тяжелыми металлами, в процессе ремедиации разными композициями сорбентов (учет роста на ГРМ-агаре, 107 КОЕ/г)**

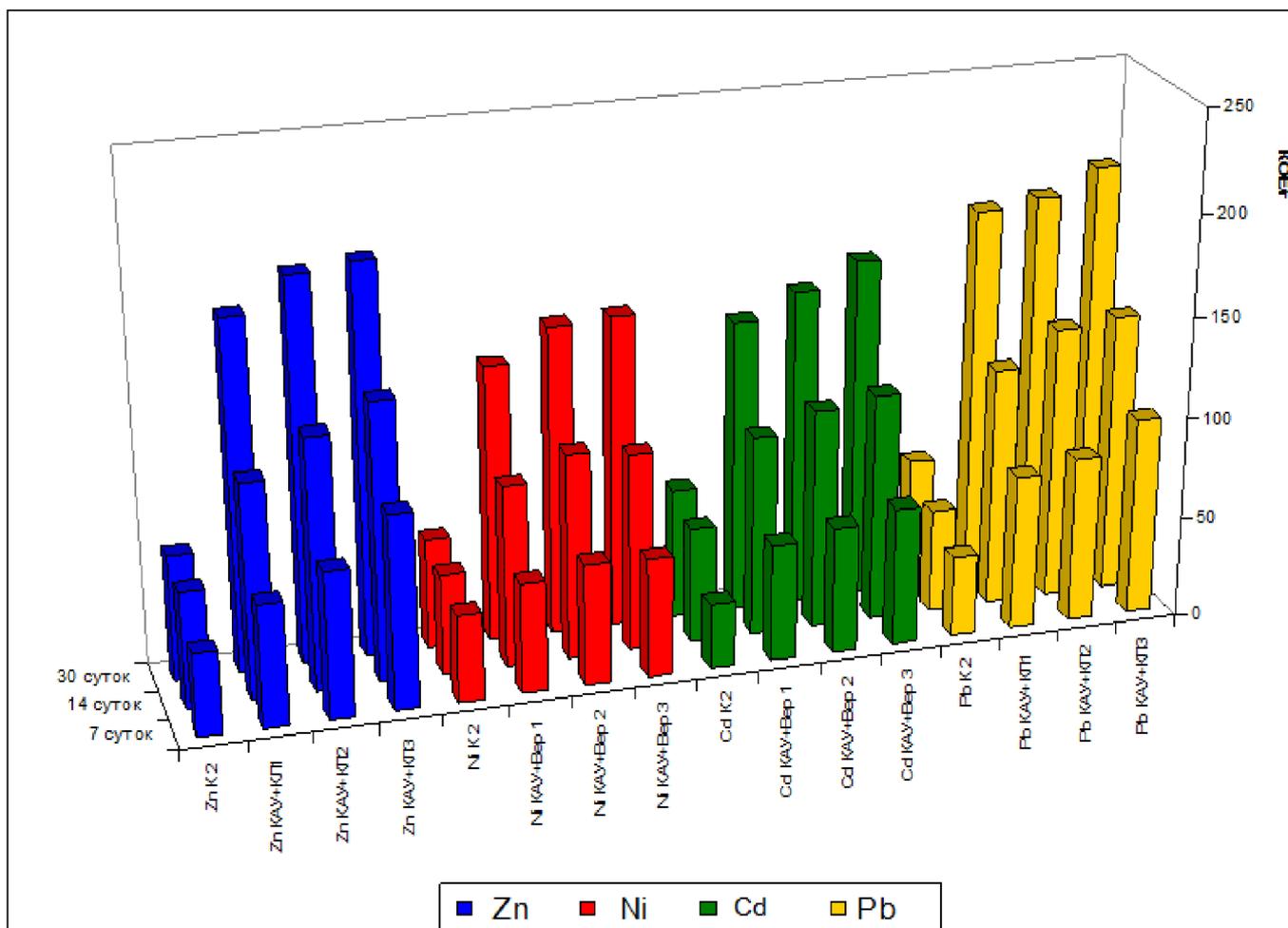
На 7-е сутки численность микроорганизмов этой физиологической группы была в пределах значений К 2, на 14-е сутки отмечено достоверное превышение этих показателей. На 30-е сутки ремедиации число актиномицетов было равным или превышало значения К1. Полученные результаты представлены на рисунке 3 на примере проб каштановой почвы. В процессе лабораторных исследований были изучены также культурально-морфологические особенности выросших колоний бактерий, актиномицетов, дрожжеподобных и плесневых грибов; морфология и тинкториальные свойства клеток из этих колоний при окраске мазков по общепринятым методикам. Это позволило сделать заключение о присутствии в микробном составе исследуемых проб почвы грамположительных и грамотрицательных

бактерий, спорообразующих форм, пигментобразующих микроорганизмов и определить видовую принадлежность доминирующих форм. Сравнительный анализ динамики содержания разных таксономических групп микроорганизмов в процессе ремедиации показал полное восстановление количественного содержания гетеротрофных бактерий во всех экспериментальных пробах почв к 30 суткам и выраженную стимуляцию роста актиномицетов на фоне пониженного содержания дрожжеподобных грибов.

Корреляционный анализ эффективности использования различных композиций сорбентов для ремедиации экспериментальных проб почв, содержащих тяжелые металлы, проведенный по показателям остаточного содержания металлов в пробах почв,

остаточной токсичности, микробного баланса и динамики ремедиации, показал перспективность дальнейших испытаний в условиях полевого исследования следующих

комбинаций сорбентов: КАУ + клиноптилолит 3 для всех типов почв, зараженных цинком и свинцом; КАУ + вермикулит 2 - для каштановых почв, зараженных никелем.



**Рис. 3. Численность актиномицетов в пробах каштановых почв, загрязненных тяжелыми металлами, в процессе ремедиации разными композициями сорбентов (учет роста на ГРМ-агаре, 107 КОЕ/г)**

Заключение. Впервые проведено комплексное исследование в лабораторных условиях эффективности использования сорбционной технологии для ремедиации разных типов почв и дана оценка их экологического состояния на основе химико-аналитического, экотоксикологического и микробиологического анализов. Выявлена взаимосвязь уровня токсичности проб почв для тест-объектов с остаточным содержанием ионов ТМ. Показана высокая информативность определения активности почвенного дыхания как интегрального показателя для оценки экологического состояния почв в

экспериментальных условиях в процессе ремедиации с использованием комбинаций сорбентов. Выявлены закономерности изменения качественного и количественного состава микроорганизмов разных типов почв, загрязненных ТМ, в процессе ремедиации в зависимости от приоритетного загрязнителя и основных характеристик почв. Отмечено некоторое увеличение общей численности бактерий и флуктуационные изменения микробной системы, затрагивающие интенсивность микробиологических процессов, на 7 - 14 сутки ремедиации. Восстановление численности гетеротрофных

бактерий, дрожжеподобных грибов и актиномицетов в разных типах почв, загрязненных ТМ, происходило к 30-м суткам при использовании комбинаций сорбентов.

Полученные данные имеют значение для разработки и оценки эффективности сорбционных технологий реабилитации загрязненных почв. Результаты исследования могут быть использованы как в научных целях при мониторинге экологического состояния антропогенно нарушенных почв, экологическом прогнозировании последствий деятельности человека на агроценозы и урбаноземы

### ЛИТЕРАТУРА

1. Аристовская Т.В., Чугунова М.В. Экспресс-метод определения биологической активности почвы // Почвоведение. 1989. № 11. С. 142-147.
2. Атлавините О.П. Оценка изучения биологической активности почвы в вегетационных сосудах / Биологическая диагностика почв. - М.: Наука, 1976. С. 24-25.
3. Вальков В.Ф. Системно-биологический подход при изучении почв // Научная мысль Кавказа. 1995. № 4. С. 6-10.
4. Вальков В.Ф. Экология почв: Учебное пособие для студентов вузов / В.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников // Часть 3. Загрязнение почв. - Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ. 2004 г. 54 с.
5. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб. - М.: Изд-во стандартов, 1989. 8 с.
6. Звягинцев Д.Г. Микроорганизмы и охрана почв. - М.: Наука, 1989. - 157 с.
7. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение, 1978. № 6. С. 48-54.
8. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. - Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 2003. 204 с.
9. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Биоэкологические принципы мониторинга и нормирования загрязнения почв. - Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2001. 65 с.
10. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологическое состояние и функции почв в условиях химического загрязнения. - Ростов-

определенных территорий, так и в практике при подборе сорбентов в зависимости от характера и степени загрязнения почв и при использовании сорбционной технологии.

Работа выполнена в рамках НИР СГТУ 13 В "Разработка методов оценки и реабилитации загрязненных природных сред" и ОКР "Почва" № госрегистрации 01200960905. Исследования поддержаны грантом Федеральной целевой программы "Развитие научного потенциала высшей школы" (государственный контракт СГТУ-7, 2012-2013).

### REFERENCES

1. Aristovskaya T.V., Chugunova M. V. Express-metod of determination of biological activity of the soil//Soil science. 1989. No. 11. Page 142-147.
2. Atlavinite O. P. Evaluation study of the biological activity of the soil in vegetative pots / Laboratory diagnosis of soils. - M.: Science, 1976. Page 24-25.
3. Valkov V.F. System-biological approach in the study of soil // Scientific thought Caucasus. 1995. № 4. С. 6-10.
4. Valkov V.F., Kazeev K. Sh., Kolesnikov S.I. Soil Ecology. Part 3. Soil pollution. - Rostov-on-Don: RSU Publishers. 2004. - 54 pp.
5. Standard 17.4.3.01-83. The Nature Conservancy. Soil. General requirements for sampling. - Enter: 1983 -12 - 21 - M.: Publishing House of Standards, 2004. - 2-4 p.
6. Zvyagintsev D.G. Microorganisms and protection of soils. - M.: Science, 1989. - 157 p.
7. Zvyagintsev D.G. Biological activity of soils and scales used for evaluation of its indices // Soil Science, 1978. № 6. - P. 48-54.
8. Kazeev, K.S. Laboratory diagnosis and indication of soil: methodology and research methods / K.S. Kazeev, S.I. Kolesnikov, V.F. Val'kov. - Rostov n / D: Publishing House of growth. University Press, 2003. - 204 p.
9. Kolesnikov S.I., Kazeev K. Sh., Valkov V.F. Bioecological principles of monitoring and rationing of pollution of soils. - Rostov-on-Don: Publishing house of TsVVR, 2001. 65 p.
10. Kolesnikov S.I., Kazeev K. Sh., Valkov V.F. Ecological condition and functions of soils in conditions of chemical pollution. Rostov-on-Don:

на-Дону: Изд-во Ростиздат, 2006. 385 с.

11. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек по водорослям Ф.Р. 1. 39. 2001. 00284;

12. Методика определения токсичности воды по смертности и изменению плодовитости дафний. ПНД Ф.Р. 14. 1: 2: 3: 4 2000;

13. Теннер, Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теннер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. - 5-е изд. - М.: Дрофа, 2004. - 256 с.

14. Troyanovskaya, E.S. Efficiency of sorption technology FOR cleaning soilS contaminated with heavy metals / E.I. Tikhomirova, E.S. Troyanovskaya, O.V. Abrosimova // ?kologishe, Technjlogishe und Rechtliche Aspekte der Lebensversorgung: Das Internationale Symposium "Euro-Eco-2013". Hannover, 2013. P. 24-25.

Rostizdat Publishers, 2006. 385 pp.

11. Method of determination of toxicity of water and water extracts by means of seaweed F.R. 1. 39. 2001. 00284;

12. Method for determining the toxicity of water on mortality and fertility change in Daphnia. PND F.R. 14. 1: 2: 3: 4 - 2000;

13. Tepper, E.Z. Workshop on microbiology / E.Z. Tepper, V.K. Shilnikova, G.I. Pereverzev. 5th ed. - M.: Bustard, 2004. 256 p.

14. Troyanovskaya, E.S. Efficiency of sorption technology FOR cleaning soilS contaminated with heavy metals / E.I. Tikhomirova, E.S. Troyanovskaya, O.V. Abrosimova // ?kologishe, Technjlogishe und Rechtliche Aspekte der Lebensversorgung: Das Internationale Symposium "Euro-Eco-2013". Hannover, 2013. P. 24-25.

**Трояновская Екатерина Сергеевна** – кандидат биологических наук, ассистент кафедры «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Тихомирова Елена Ивановна** – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

**Абросимова Ольга Владимировна** – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Troyanovskaya Ekaterina S.** – Candidate of Science in Biologics, ассистент of the Department of Ecology of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

**Tikhomirova Elena I.** – Doctor of Science in Biologics, Professor, Head of the Department of Ecology of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

**Abrosimova Olga V.** – Candidate of Science in Biologics, Assistant Professor of the Department of Ecology of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

Статья поступила в редакцию 15.01.14, принята к опубликованию 25. 01. 14

---

УДК 378.147.88

**А.А. Макарова, З.А. Симонова, Е.И. Тухомирова, А.Л. Подольский**  
**A.A. Makarova, Z.A. Simonova, E.I. Tikhomirova, A.L. Podolsky**

**ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ  
СТУДЕНТОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ  
022000 «ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ»**

**INNOVATIVE APPROACH TO FORMATION OF STUDENT INDEPENDENT WORK,  
SPECIALIZATION IN 022000 «ECOLOGY AND NATURE MANAGEMENT»**

*Рассматривается использование композиционной модели организации самостоятельной работы студентов. Данная модель предполагает единство трех взаимосвязанных форм: аудиторной, внеаудиторной и творческой. Наиболее удачной формой внеаудиторной и одновременно творческой самостоятельной работы является разработка проектов. Написание проекта осуществляется в течение всего срока обучения, в результате чего основной проект подразделяется на четыре (по срокам обучения) взаимосвязанных проекта: проект первого, второго, третьего и четвертого курсов обучения. Проект каждого курса состоит из проектов по каждой дисциплине.*

Композиционная модель, самостоятельная работа студентов, метод проектов

*The paper discusses the use of compositional model of student independent work. This model implies a unity of three interrelated types: classwork, fieldwork and creative work. The most effective type of fieldwork and creative work combined is project development by students. Writing the project is implemented throughout all years of studies. The main project is divided into four (in terms of learning) related projects: freshman year project, sophomore year project, junior year project, and senior year project. The project for each school year consists of the projects within each course.*

Compositional model, independent work, project-based learning

Организация самостоятельной работы студентов (СРС) в современной высшей школе становится одним из важнейших направлений всей методики обучения, что обусловлено запросами современного информационного общества, расширением информационного пространства, созданием условий для самореализации личности студентов. В связи с этим, при подготовке бакалавров и магистров возникает необходимость формирования современных технологий процесса организации самостоятельной работы. Лучшим образом такой подход, по нашему мнению, отражает композиционная модель самостоятельной работы.

Композиционная модель организации СРС определяется как внешними, так и внутренними факторами. Внешние факторы

отражают требования внешних сторон к образовательному процессу при подготовке студентов. К ним относятся требования Министерства образования и науки, особенности образовательного процесса в конкретном высшем учебном заведении.

Внутренние факторы определяются наличием учебных ресурсов, телекоммуникационной оснащённостью, готовностью и гибкостью преподавателей применять различные модели, сценарии и варианты самостоятельной работы, исходя из конкретного момента времени. В организации СРС именно преподавателю принадлежит решающая роль, т.к. он должен работать не со студентом "вообще", а с конкретной личностью, с ее сильными и слабыми сторонами, индивидуальными способностями и

наклонностями. Задача преподавателя - увидеть и развить лучшие качества студента как будущего специалиста высокой квалификации.

В настоящее время композиционная модель организации самостоятельной работы студентов должна быть направлена на формирование профессионально - специализированной компетенции, которая, в свою очередь, опирается на такие компетенции, как ключевая, базовая и результативно-целевая (рисунок 1).

В данном случае базовая компетенция формируется на основе знаний, полученных в процессе теоретического обучения дисциплинам как социально-гуманитарного, так и естественнонаучного и профессионального цикла. Теоретический этап обучения выполняется в ходе лекционных, практических и лабораторных занятий, где

большую роль играет самостоятельная аудиторная работа студентов.

Ключевая компетенция основана на личностно-деятельностном этапе, который способствует получению знаний в процессе внеаудиторной СРС. При это важно правильно организовать личностно-деятельностный этап, т.к. именно он позволяет подготовить не только высокопрофессионального, но и грамотного, социально-ориентированного специалиста.

Результативно-целевая компетенция базируется на практикующем этапе учебного процесса. В результате этого этапа студент на учебных и производственных практиках, с одной стороны, закрепляет знания, приобретенные в ходе теоретического обучения, а, с другой стороны, самостоятельно получает знания необходимые для его дальнейшей профессиональной деятельности.



**Рис. 1. Композиционная модель организации самостоятельной работы**

Таким образом, предлагаемая модель организации СРС предполагает, что самостоятельная работа должна представлять единство трех взаимосвязанных форм:

1. Аудиторная самостоятельная работа, которая осуществляется под непосредственным руководством преподавателя;
2. Внеаудиторная самостоятельная работа;

3. Творческая работа, в том числе и научно-исследовательская.

Такое подразделение достаточно условно, т.к. отчетливые границы между ними выделить невозможно, а сами виды самостоятельной работы пересекаются.

На кафедре экологии СГТУ им. Гагарина Ю.А. при подготовке бакалавров по направлению

---

"Экология и природопользование" применяются следующие виды аудиторной самостоятельной работы:

1. При чтении лекционного курса непосредственно в аудитории используются интерактивные формы, например, "лекция вдвоем" (лекция читается двумя студентами, которые излагают разные точки зрения на проблему), лекция с ошибками (преподаватель специально делает ошибки при изложении материала, предлагая студентам найти их).

2. При проведении практических занятий каждый студент получает свое индивидуальное задание (вариант), при этом условие задачи для всех студентов одинаковое, а исходные данные различны. Перед началом выполнения задания преподаватель дает только общие методические указания (общий порядок решения, точность и единицы измерения определенных величин, имеющиеся справочные материалы и т.п.), дальнейшее решение задачи студент осуществляет самостоятельно. Выполнение самостоятельной работы на занятиях с последующей проверкой результатов преподавателем приучает студентов грамотно и правильно делать технические расчеты, пользоваться вычислительными средствами и справочными данными. Изучаемый материал усваивается более глубоко, у студентов меняется отношение к лекциям, так как без понимания теории предмета, без хорошего конспекта трудно рассчитывать на успех в решении задачи. Это улучшает посещаемость как практических, так и лекционных занятий.

3. На старших курсах со студентами на практических занятиях проводятся "деловые игры", решаются ситуационные задачи, предлагаются для изучения интерактивные имитаторы реальных ситуаций (симуляции). Тематика таких форм интерактивного обучения связана с конкретными производственными проблемами или носит прикладной характер, включает задачи ситуационного моделирования по актуальным проблемам и т.д. Такие занятия проводятся с целью вовлечения студентов в имитирующие реальные ситуации для их профессиональной адаптации.

4. На практических занятиях студенты могут самостоятельно изучать принципиальные схемы, макеты, программы и т.п., выдаваемые

преподавателем вместе с контрольными вопросами, на которые необходимо ответить в течение занятия.

5. При подготовке экологов по многим дисциплинам предусмотрены лабораторные работы. Выполнение лабораторного практикума, как и другие виды учебной деятельности, содержит много возможностей применения активных методов обучения и организации СРС на основе индивидуального подхода. Любая лабораторная работа включает глубокую самостоятельную проработку теоретического материала, изучение методик проведения и планирование эксперимента, освоение измерительных средств, обработку и интерпретацию экспериментальных данных. При этом часть работ может не носить обязательный характер, а выполняться в рамках самостоятельной работы по курсу.

Виды внеаудиторной СРС, применяемой на кафедре, также весьма разнообразны. С нашей точки зрения, внеаудиторная самостоятельная работа должны существенно изменяться в зависимости от блока изучаемых дисциплин, так как каждый блок способствует формированию определенных компетенций. Для гуманитарно-социального и естественно-научного блоков наиболее подходящими будут традиционные виды СРС, такие как:

- подготовка и написание рефератов, докладов, очерков и других письменных работ на заданные темы;

- выполнение домашних заданий разнообразного характера: решение задач, перевод и пересказ текстов, подбор и изучение литературных источников, разработка и составление различных схем, выполнение графических работ, проведение расчетов и др.;

- выполнение индивидуальных заданий, направленных на развитие у студентов самостоятельности и инициативы. Индивидуальное задание может получать как каждый студент, так и часть студентов группы;
- подготовка к участию в научно-теоретических конференциях, смотрах, олимпиадах и др.

Для общепрофессиональных и специальных дисциплин, по нашему мнению, наиболее удачной формой внеаудиторной и одновременно творческой самостоятельной

работы является разработка проектов. Метод проектов всегда предполагает решение какой-то проблемы, предусматривающей, с одной стороны, использование разнообразных подходов, с другой - интегрирование знаний, умений из различных областей науки, техники, технологии, творческих областей.

Проекты носят междисциплинарный характер. В разработке их тематики принимают участие преподаватели кафедры, читающие профессиональные и специальные дисциплины. При создании проекта учитываются три структурных элемента, которые отражают его качественность:

- хорошо продуманная модель профессиональной среды;
- сценарий процесса разработки проекта, направленный на развитие интуиции и поиска альтернативного нестандартного решения проблемы;
- использование стратегии скэффолдинга, основанной на "угасающей помощи" со стороны преподавателя в ходе выполнения проекта.

Курс обучения, в основе которого лежит проектная работа, строится как цепочка проектов, тематически связанных между собой и реализующих принцип преемственности и постепенного усложнения материала.

Тематика проекта и тематика заданий самостоятельной работы по общепрофессиональным и специальным дисциплинам определяются основными

научными направлениями кафедры, которые реализуются при выполнении дипломных работ. Написание проекта осуществляется в течение всего срока обучения, в результате чего основной проект подразделяется на четыре (по срокам обучения) взаимосвязанных проекта: проект первого, второго, третьего и четвертого курсов обучения (рисунок 2). В свою очередь проект каждого курса состоит из проектов по каждой дисциплине.

Большую помощь в выполнении проектов оказывают практики - учебные (в т.ч. полевые) и производственные. Именно там происходит набор первичной информации. Для выполнения данного типа проектов необходимо наличие высокопрофессиональных преподавателей и соответствующие лабораторную базу, и программное обеспечение.

Тематику основных проектов для каждого студента I курса определяют на заседании кафедры, и впоследствии преподаватель конкретной дисциплины разрабатывает для студентов, включенных в тот или иной проект, задания. Анализ за несколько лет показал, что темы дипломных и выпускных работ студентов - экологов можно объединить в две группы: первая - посвящена анализу экологического состояния определенной территории или объекта, вторая - анализу экологического состояния предприятия.



**Рис. 2. Схема самостоятельной работы в рамках проектной работы**

---

В данной работе в качестве примера мы приводим схему организации основного проекта по анализу экологического состояния территории ".....". При создании проекта в основном задействованы дисциплины, закрепленные за кафедрой экологии.

На первом курсе таким дисциплинами являются география, геология, основы природопользования, общая экология, учение о гидросфере, учение об атмосфере, ландшафтоведение. В соответствии с этим примерная тематика обобщенного проекта первого курса - "Ландшафтное районирование территории". Выбор территории определяется задачами кафедры и интересами преподавателей кафедры. В качестве примерных тематик проектов самостоятельной работы по конкретным дисциплинам могут быть следующие темы: геология - "Геологические структуры и отложения территории", "Геологическая история территории", "Геологическая история четвертичного периода"; основы природопользования - "Особо охраняемые территории", "Биологические ресурсы территории", "Водные ресурсы территории"; учение о гидросфере - "Водный режим водных объектов", "Расчет запасов воды в снеговом покрове"; учение об атмосфере - "Климатические характеристики территории", "Режим выпадения осадков", "Неблагоприятные метеоусловия и их повторяемость"; общая экология - "Изменения численности популяций", "Интродукция видов и их поведение"; география и ландшафтоведения - "Ландшафтное районирование", "Демографический рисунок территории", "Геополя и их характеристики", "Нуклеарные структуры территории", "Производственная характеристика территории".

На втором курсе студенты изучают следующие дисциплины - биоразнообразие, экономика природопользования, почвоведение, геоэкология, геохимия окружающей среды, оценка воздействия на окружающую среду, геоинформационные системы, экология человека. Обобщающее название проекта - "Разработка ландшафтной карты в формате 2D и 3D". Примерная тематика проектов самостоятельной работы по

дисциплинам второго курса: биоразнообразие - "Определение степени схожести - расхождения видов в разных районах территории"; геохимия окружающей среды - "Геохимические аномалии территории", "Геохимические ловушки"; оценка воздействия на окружающую среду - "Природные особенности территории и их влияние на устойчивость ландшафтов"; экология человека - "Заболеваемость населения", "Специфические заболевания и причины их возникновения", почвоведения - "Почвы территории", "Специфика современных почвообразовательных процессов".

На третьем курсе студенты изучают экологический мониторинг, экологию растений, животных, микроорганизмов, современные экологические проблемы, радиационную экологию, экологический аудит. Название проекта третьего курса - "Экологические проблемы территории". В рамках конкретных дисциплин примерная тематика проектов: экология растений, животных, микроорганизмов - "Исследование ферментативной активности древесных растений", "Микробиологические особенности снегового и почвенного покрова территории"; радиационная экология - "Особенности радиационного режима территории"; современные экологические проблемы - "Локальные экологические проблемы территории и их оконтуривание", "Региональные экологические проблемы территории"; экологический аудит - "Экологический аудит территории", экологический мониторинг - "Мониторинг геологической среды", "Мониторинг водных объектов", "Мониторинг воздушной среды".

На четвертом курсе студенты изучают такие дисциплины, как физико-химические и аналитические методы экологических исследований, экологический менеджмент, экологическая экспертиза. Название проекта четвертого курса - "Анализ экологического состояния территории". Частные проекты в рамках конкретных дисциплин: экологический менеджмент - "Система управления природопользованием территории", "Основные законодательные акты по охране окружающей среды"; физико-химические

методы экологических исследований - "Исследование состояния природных сред на основе инструментальных замеров"; экологическая экспертиза - "Разработка мероприятий по улучшению состояния окружающей среды".

В результате, на момент написания выпускной или дипломной работы студенты, работающие в данном проекте, имеют необходимый материал, который они нарабатывали в течение всего срока обучения. В последнем семестре во

время преддипломной практики они должны только скомпоновать полученные четыре проекта в единый основной проект.

Таким образом, использование предлагаемой нами композиционной модели организации самостоятельной работы студентов позволяет подготовить социально-ориентированного, грамотного специалиста, способного самостоятельно решать профессиональные проблемы.

**Макарова Алевтина Алексеевна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Симонова Зоя Александровна** – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Тихомирова Елена Ивановна** – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

**Подольский Андрей Львович** – PhD по зоологии и экологии в университете Северной Каролины, профессор кафедры «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Makarova Alla A.** – Candidate of Science in Economics, Associate Professor of the Department of «Ecology» of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

**Simonova Zoya A.** – Candidate of biological sciences, Associate Professor of the Department of «Ecology» of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

**Tikhomirova Elena I.** – Doctor of Science in Biologics, Professor, Head of the Department of «Ecology» of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

**Podolsky Andrei L.** – PhD in Zoology / Ecology, Professor of the Department of «Ecology» of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

Статья поступила в редакцию 11.01.14, принята к опубликованию 25. 01. 14

УДК: 5.57.574

**Н. В. Веденеева, В. А. Заматырина, Е. И. Тихомирова, М.В. Истрашкина, Т. В. Анохина, С.В. Бобырев**

**N.V. Vedeneeva, V.A. Zamatyrina, E.I. Tikhomirova, M.V. Istrashkina, T.V. Anohina, S.V. Bobyrev**

## ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СОРБЕНТОВ

### INNOVATIVE METHODS FOR CLEANING THE SURFACE AND WASTE WATER USING NANOSTRUCTURED SORBENTS

Представлены инновационные методы очистки поверхностных и сточных вод. Исследована эффективность использования

*Explore innovative methods in the treatment of surface water and waste water. The efficiency of the nanostructured natural sorbents modified with*

---

*наноструктурированных природных сорбентов и модифицированных препаратов с антимикробными свойствами для очистки поверхностных и сточных вод.*

---

*bactericides used for surface water and wastewater treatment is studied.*

---

Сорбция, сорбенты, очистка воды, сточные воды, поверхностно-активные вещества, бактерицид

Sorption, surface-active substances, waste water, waste water treatment, bactericide

Качество питьевой воды определяет здоровье и качество жизни людей. Обеспечение населения чистой водой оказывает непосредственное влияние на снижение смертности, в особенности детской, и увеличение продолжительности жизни. В настоящее время значительная часть (более 50%) сельского населения России не имеет возможность пользоваться водой надлежащего качества. Эта проблема актуальна и для жителей Саратовской области [1]. Качество воды в большинстве случаев не соответствует гигиеническим требованиям к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. В зависимости от источника, может существенно превышать ПДК по химическим и бактериологическим показателям [2].

Для очистки воды в настоящее время становятся популярными комбинированные фильтры, позволяющие в один этап осуществить несколько стадий водоочистки. Это инновационный продукт современных технологий в области водоочистки [3, 4]. Разработкой и производством занимаются многие зарубежные фирмы. Однако до настоящего времени не представлены варианты фильтров, эффективно обеспечивающих одновременно сорбцию и дезинфекцию в отношении химических и микробиологических загрязнителей.

Целью наших исследований была разработка технологии создания комбинированных фильтрующих загрузок на основе природных биологически активных и наноструктурированных сорбентов, как для очистки питьевых, так и сточных вод. Разрабатываемая технология позволит не только очищать воду от химических и механических примесей, но и одновременно ее обеззараживать. Для очистки питьевых вод

рекомендовано использование комплекса модифицированных бентонитовых гранул и инновационного нанобиополимера с антибактериальными свойствами, для сточных - композиции органобентонита с интеркалированным дезинфектантом.

Наиболее перспективными для задач очистки сточных вод являются наноструктурированные формы природных сорбентов органобентонита и бентонита, с отличной от исходных минералов внутренней структурой, в которую можно встраивать вещества с бактерицидными свойствами [5]. На настоящий момент таких веществ известно великое множество, но большинство из них сами являются опасными с экологической точки зрения химическими веществами, например, такие как хлор и озон.

Нами разработана технология получения гранул модифицированного органобентонита. Органобентонит представляет собой продукт взаимодействия естественных монтмориллонитовых глин (бентонитов) с четвертичными аммониевыми солями (ЧАС) после специальной обработки глины. Он имеет слоистую кристаллическую структуру и нанопространства между элементарными пластинами алюмосиликата, куда могут быть внедрены молекулы бактерицидных препаратов. В наших разработках использовался органобентонит, модифицированный иодированным алкапав.

Иодированный алкапав готовили следующим образом: в 100 мл раствора 50% хлорид алкилтриметиламмония (алкапав) при pH=10 добавляли 350 мг йода и перемешивали в течение  $20 \pm 5$  минут. В полученный раствор опускали гранулы органобентонита и выдерживали  $60 \pm 15$  минут. Для фильтрующих загрузок использовали химически стойкие гранулы органобентонита диаметром 1 - 2 мм, измельчаемость которых была не более 4% и

истираемость - не более 0,5%. Гранулы с такими характеристиками позволяли более эффективно использовать бактерицидные свойства встроенного компонента при минимальной концентрации (0,1%).

Полученные гранулы модифицированного органобентонита использовали в лабораторных фильтровальных установках с целью определения их бактерицидного действия в отношении взвесей модельных микроорганизмов: *Staphilococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella enterica*, *Proteus vulgaris*.

Взвеси микроорганизмов готовили в физиологическом растворе по стандарту

мутности ГИСК имени Тарасевича № 10, титровали до концентрации 500 000 клеток в 1 мл и фильтровали через гранулы сорбента. Посев фильтрата взвесей бактерий в объеме 0,1 мл на чашки Петри с питательным агаром производили через 5, 10, 20 и 30 минут контакта с модифицированным органобентонитом. Посевы инкубировали при температуре 370С в течение 48 часов. Результаты учитывали по наличию роста колоний соответствующих бактерий на питательной среде (табл. 1). В качестве контроля были использованы посевы 0,1 мл исходных взвесей бактерий.

**Таблица 1**

**Учет роста колоний из фильтратов взвесей микроорганизмов через гранулы модифицированного органобентонита**

Взвеси бактерий	Наличие роста колоний микроорганизмов Фильтрат/контроль
<i>Escherichia coli</i>	- / +
<i>Staphilococcus aureus</i>	- / +
<i>Salmonella enterica</i>	- / +
<i>Proteus vulgaris</i>	- / +

Установлено, что разработанный сорбент на основе модифицированного бактерицидом органобентонита обладает высокой антимикробной активностью по отношению к тестовым бактериям, при контакте в течение уже 5 минут. В посевах всех фильтратов бактерий роста колоний на питательных средах не выявлено, в отличие от сплошного роста, типичного для каждого вида бактерий, на чашках Петри с посевом по исходных взвесей микроорганизмов (контроль).

При создании фильтрующих загрузок для очистки питьевых вод нами была разработана технология получения модифицированных бентонитовых гранул путем отжига бентонитового порошка Даш-Салахлинского месторождения (Азербайджан). Ранее проведенными исследованиями было установлено, что гранулы являются наноструктурированными, и могут проявлять как анионные, так и катионные свойства, в зависимости от способа модификации, а также обладают высокой сорбционной емкостью по отношению к гумусовым веществам, железу, нитратам, взвешенным частицам [6].

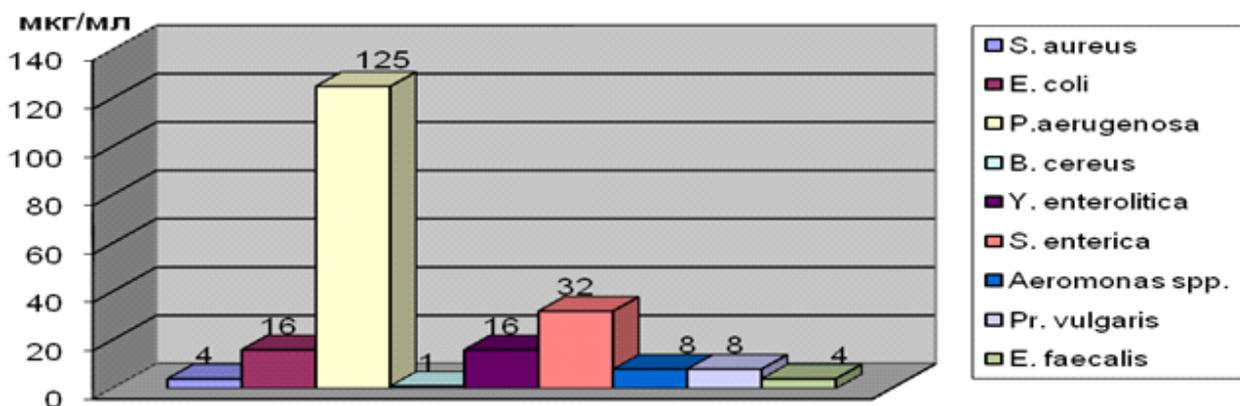
В качестве бактерицидного компонента для комплексных фильтрующих загрузок использовали полиазолидинаммоний ионогидрат (ПААГ-М), относящийся к классу поликатионов. Исходным сырьем для получения полиазолидинаммония, модифицированного гидрат-ионами йода, был полидиаллилдиметиламмоний хлористый, используемый в практике в качестве коагулянта (для очистки стоков) и диспергатора (для снижения вязкости дисперсных систем на водной основе с высокой концентрацией). Использованный ПААГ-М обладает антимикробными свойствами за счет образования электростатических связей между полимером и мембранами бактерий, а также биоактивного йода, входящего в его состав. В наших исследованиях использовали водный раствор ПААГ-М для установления эффективности его действия в отношении санитарно-показательных микроорганизмов воды (табл. 2).

В работе использовали референс-штаммы микроорганизмов *Yersinia enterocolitica*, *Escherichia coli* 113-13, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853,

*Bacillus cereus* 8035, *Staphylococcus aureus* 209 P, *Aeromonas* spp., *Proteus vulgaris*, *Salmonella enterica*, *Enterococcus faecalis* из коллекции ГИСК им. Л.А. Тарасевича, г. Москва.

Изучение антибактериальной активности ПААГ-М проводили в соответствии с МУК 4.2.1890-04 "Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам" методом серийных разведений в мясо-пептонном бульоне (МПБ). Минимальную бактерицидную концентрацию (МБК) ПААГ-М определяли путем высева взвеси бактерий после их контакта с полимером на плотную питательную среду (ГРМ-агар). Результат оценивали по количеству колониобразующих единиц (КОЕ) в контрольных и опытных образцах через 24 часа инкубации посевов при 37 °С.

Установлено (рис.), что МБК ПААГ-М для *B. cereus* составила 1 мкг/мл, для *E. faecalis* - 4 мкг/мл. В отношении *E. coli* препарат был эффективен в концентрациях от 1000 до 16 мкг/мл, что соответствует 1-0,015% раствора. МБК для *P. aeruginosa* ATCC 27853 была выше средних значений и составила 125 мкг/мл. На *Y. enterocolitica* ПААГ-М оказывал бактерицидное действие в концентрации 1000-16 мкг/мл, концентрации 8-2 мкг/мл оказывали лишь бактериостатическое действие, т.к. отмечен рост на МПА в виде единичных колоний взвеси, обработанной препаратом. МБК ПААГ-М для *Aeromonas* spp. составила 8 мкг/мл, для *S. aureus* 209 P - 4 мкг/мл, более низкие концентрации препарата оказывали частичное бактерицидное действие.



**Рис. Биологическая активность ПААГ-М в отношении референс-штаммов бактерий**

Для установления скорости инактивации бактерий 0,1 мл взвеси *E. coli* с концентрацией 5 млн. м.к./мл добавляли к 5 мл ПААГ-М в серии разведений от 1 до 0,03% раствора. В качестве контроля помещали бактерии в такой же объем физ.раствора. Через 30 минут, 1, 2 и 24 часа высевали по 0,1 мл взвеси на чашку Петри с МПА и инкубировали посевы при 37 °С в течение 24 ч. Результат учитывали по числу КОЕ в пересчете на 1 мл.

Установлено снижение числа бактерий при увеличении длительности воздействия ПААГ-М (табл. 2). Полный бактерицидный эффект достигался через 1 час взаимодействия с бактериями.

В связи с тем, что водный раствор ПААГ-М трудно применим в проточных или наливных

фильтрах, необходимо было подобрать субстрат для его нанесения. В качестве основы рассматривали исследуемые бентонитовые гранулы, а также современные сорбенты, отличающиеся структурой, площадью удельной поверхности, элементным составом. Для нанесения полимера исследуемые сорбенты погружали в 0,06 % водный раствор ПААГ-М на 20 минут из расчета 1:1 (100 г сорбента: 100 мл полимера). Затем обработанные сорбенты загружали в фильтровальные колонки, промывали 1 л дистиллированной воды. В качестве модельного раствора использовали взвесь *E. coli* с концентрацией клеток  $5 \times 10^3$  в 1 мл. Результаты фильтрации взвеси бактерий через варианты сорбентов представлены в таблице 3.

**Таблица 2**

**Количество КОЕ E. coli в зависимости от концентрации ПААГ-М и времени воздействия**

Часы, ч / конц., %	Кол-во КОЕ м.к. в мл						
	<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>0,25</b>	<b>0,125</b>	<b>0,06</b>	<b>0,03</b>	<b>К</b>
<b>Исх.</b>	(1,34± 0,08)•10 <sup>5</sup>	(1,43± 0,03)•10 <sup>5</sup>	(1,39± 0,06)•10 <sup>5</sup>	(1,22± 3,21)•10 <sup>5</sup>	(1,49± 0,07)•10 <sup>5</sup>	(1,23± 3,55)•10 <sup>5</sup>	(1,54± 0,08)•10 <sup>5</sup>
<b>0,5</b>	(5,99± 0,56)•10 <sup>4</sup>	(3,41± 0,33)•10 <sup>4</sup>	(2,97± 0,21)•10 <sup>4</sup>	332,00± 0,34	31,00± 3,00	5,00± 0,08	91,54± 0,11)•10 <sup>5</sup>
<b>1</b>	(3,53± 0,73)•10 <sup>3</sup>	(2,26± 0,07)•10 <sup>3</sup>	(1,56± 0,29)•10 <sup>3</sup>	154,00± 0,04	2,00± 0,09	0	(1,54± 0,15)•10 <sup>5</sup>
<b>2</b>	(3,37± 0,23)•10 <sup>3</sup>	(1,76± 0,05)•10 <sup>3</sup>	(1,04± 0,49)•10 <sup>3</sup>	61,00± 2,17	0	0	(1,53± 0,17)•10 <sup>5</sup>
<b>24</b>	9,00±0,03	4,00± 0,05	0	0	0	0	(1,47± 0,09)•10 <sup>5</sup>

Установлено, что бактерицидная активность ПААГ-М зависела от структуры сорбента и определяла общую дезинфицирующую способность фильтрующего слоя. 100 % антибактериальный эффект отмечен только при нанесении полимера на анионообменную смолу АВ 17-8, которая отличается от других сорбентов особенностями строения и наличием четвертичных аммониевых оснований. ПААГ-М за счет электростатических сил прикрепляется органическим радикалом к группам четвертичных аммониевых оснований, при этом активные центры полиэлектролита, содержащие активный йод, оказываются свободными. В данном варианте комплекса полимера и сорбента ПААГ-М крепко удерживается на гранулах смолы и не смывается при фильтрации водных растворов. Хороший бактерицидный эффект установлен также при нанесении полимера на бентонитовые гранулы, отожженные при 800оС, гранулы, а также активированные щелочью или кислотой, что объясняется особенностями структуры сорбентов: для гранул, отожженных при высоких температурах, характерна твердая поверхность с небольшим количеством пор. Это возможность полимеру закрепиться на их поверхности и "развернуть" свою цепочку.

Использование разработанных фильтрующих систем обеспечивает решение сразу двух задач водоочистки: подготовки поверхностных и грунтовых вод для питьевого водоснабжения и очистки сточных и загрязненных поверхностных вод. Их применение позволяет существенно снижать цветность и мутность фильтруемых вод, сорбировать ионы тяжелых металлов, нитриты и нитраты, пестициды, нефтепродукты и одновременно обеззараживать воду. Разработанные фильтрующие системы предназначены как для индивидуального пользования в полевых, походных, экстремальных (в случаях природных и техногенных катастроф) условиях, так и в домашних. В этой связи возможно создание различных вариантов коммерческого продукта: от бытовых кувшинных фильтров до станций водоснабжения малых населенных пунктов в сельской местности. Комбинированные фильтрующие системы могут быть использованы в установках очистки воды на предприятиях среднего и малого бизнеса, ЖКХ, садовых кооперативов, частного потребления, а также иных водопользователей. Применение модифицированных гранулированных сорбентов в очистке сточных вод приемлемо с экологической и экономической точки зрения.

Таблица 3

**Бактерицидная активность ПААГ-М в зависимости от характеристик сорбента**

Варианты сорбентов	Кол-во КОЕ в фильтрате, КОЕ/мл		
	Контроль	Без обработки ПААГ-М	После обработки ПААГ-М
Бентонитовые гранулы, обжиг t=600°C (глицерин:вода)	4,35*10 <sup>3</sup>	2,76* 10 <sup>3</sup>	7,98* 10 <sup>2</sup>
Бентонитовые гранулы, обжиг t=700°C (глицерин:вода)	4,8*10 <sup>3</sup>	4,25*10 <sup>3</sup>	4,12*10 <sup>3</sup>
Бентонитовые гранулы, обжиг t=800°C (глицерин:вода)	4,74*10 <sup>3</sup>	5,9*10 <sup>2</sup>	2-5
Бентонитовые гранулы, обжиг t=650°C (УНМ: без глицерина)	4,736*10 <sup>4</sup>	2,64 *10 <sup>4</sup>	1,92 * 10 <sup>4</sup>
Бентонитовые гранулы, обжиг t=650°C (глицерин:вода), активирован. NaOH (4%)	6,52 * 10 <sup>3</sup>	6,06* 10 <sup>3</sup>	27
Бентонитовые гранулы, обжиг t=650°C (глицерин:вода), активирован. HCl (8%)	6,52 * 10 <sup>3</sup>	5,9*10 <sup>3</sup>	13
Активированный уголь марки Calgon	4,74*10 <sup>4</sup>	4,356 * 10 <sup>4</sup>	3,97*10 <sup>4</sup>
Кварц песок	4,74*10 <sup>4</sup>	2,76* 10 <sup>4</sup>	7,26*10 <sup>3</sup>
Алсис	4,74*10 <sup>4</sup>	2,124 * 10 <sup>4</sup>	2,06*10 <sup>4</sup>
Бирм	4,5*10 <sup>4</sup>	3,00 * 10 <sup>4</sup>	1,41 *10 <sup>4</sup>
Фильтр АГ	4,5* 10 <sup>4</sup>	3,8* 10 <sup>4</sup>	1,23*10 <sup>4</sup>
Катионит	4,5* 10 <sup>3</sup>	4,22*10 <sup>3</sup>	38
Анионит АВ 17-8, ЧС	4,5 * 10 <sup>3</sup>	3,87 * 10 <sup>3</sup>	отсутствие

## ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2012 году. Саратов, 2013. 224 с.
2. Шапкин Н. П., Жамская Н. Н., Кондриков Н. Б. Фундаментальные основы технологии очистки сточных вод // Тезисы докладов Международного экологического конгресса "Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности". СПб.: 2000. С. 259.
3. Климов Е. С., Бузаева М. В. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод. - Ульяновск: УлГТУ, 2011. - 201 с.
4. Орлов А.А., Долматова Т.Е., Кошелев А.В., Скиданов Е.В. Мембранные методы очистки питьевой воды в сельских условиях // Фундаментальные исследования. 2013. № 4. С. 1084-1088.
5. Тихомирова Е.И., Заматырина В.А., Кошелев А.В., Бойченко Е.А. Экологическое обоснование получения и применения биологически активных органобентонитов //

## REFERENCES

1. Report on the state and protection of the environment of the Saratov region in 2012. Saratov, 2013. 224 p.
2. Shapkin N.P., Zhamskaya N.N., Kondrikov N.B. Fundamentals of wastewater treatment technologies // Abstracts of the International Ecological Congress "New issues in ecology and life safety". SPb.: 2000. 259 p.
3. Klimov E.S., Buzaeva M.V. Natural sorbents and chelators in wastewater treatment. Ulyanovsk: UISTU, 2011. 201 p.
4. Orlov A.A., Dolmatova T.E., Koshelev A.V., Skidanov E.V. Membrane methods of purification of drinking water in the rural environment // Fundamental research. 2013. № 4. 1084-1088 p.
5. Tikhomirova E.I., Zamatyrina V.A., Koshelev A.V., Boychenko E.A. Ecological study of obtainment and application of biologically active organic bentonites // Fundamental research. 2013. № 4. 660-683 p.
6. Vedeneva N.V., Nechaeva O.V., Zayarsky

Фундаментальные исследования. 2013. № 4. С. 660-683.

6. Веденева Н.В., Нечаева О.В., Заярский Д.А., Тихомирова Е.И. Изучение фильтрующих свойств, модифицированных органобентонитовых гранул в отношении санитарно-показательных микроорганизмов воды // Фундаментальные исследования. 2013. № 6. Ч. 4. С. 906-908.

*D.A. Tikhomirova E.I. Study of filtration properties of modified organic bentonite granules for sanitary-test microorganisms in water // Fundamental research. 2014. № 6. P. 506 -511.*

**Веденева Наталия Владимировна** - инженер ИЛЦ "ЭкоОС" Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Заматырина Валентина Алексеевна** - ассистент кафедры "Экология" Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Тихомирова Елена Ивановна** – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой "Экология" Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

**Истрашкина Мария Викторовна** – магистр 2-го года обучения кафедры "Экология" Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Анохина Татьяна Викторовна** - кандидат медицинских наук, доцент кафедры "Экология" Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Бобырев Сергей Владимирович** - доктор технических наук, профессор кафедры "Экология" Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

*Vedeneeva Nataliya V. – engineer of TLC EcoOs Department of Ecology of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.*

*Zamatyrina Valentyna A. -- assistant of the Department of Ecology of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.*

*Tikhomirova Elena I. – Doctor of Science in Biologics, Professor, Head of the Department of Ecology of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.*

*Istrashkina Maria V. – Master of 2nd year of the Department of Ecology of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.*

*Anokhina Tatyana V. – associate professor of the Department of Ecology of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.*

*Bobyrev Sergey V. – Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Ecology of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.*

Статья поступила в редакцию 15.01.14, принята к опубликованию 25. 01. 14

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПОПУЛЯЦИОННОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ ПТИЦ С ЦЕЛЬЮ ВЫРАБОТКИ ЭФФЕКТИВНЫХ ПРИРОДООХРАННЫХ СТРАТЕГИЙ**

**ECOLOGICAL ASSESSMENT OF BIRD POPULATIONS USING MODELING OF THEIR POPULATION DYNAMICS AS A MEANS FOR THE DEVELOPMENT OF EFFICIENT CONSERVATION MANAGEMENT STRATEGIES**

*Рассматривается моделирование популяционной динамики в качестве важнейшего компонента эффективных стратегий охраны редких и исчезающих видов птиц. Автор представляет оригинальную модель годовой продуктивности популяций, включающую, помимо традиционного набора используемых в мировой природоохранной практике показателей, вероятностные параметры жизненного цикла моногамных видов птиц, оказывающих существенное влияние на популяционную скорость роста. Кейс-стадии североамериканского вида *Seiurus aurocapilla* L. используется для иллюстрации возможных методов эмпирической параметризации предложенной модели.*

*This article considers population dynamics modeling as an important tool for the development of efficient conservation management strategies for rare and declining bird species. The author presents the original model of annual population fecundity. Besides traditionally used parameters, the model includes several probabilistic variables affecting the resulting population growth rates. Case-study of the North American species, *Seiurus aurocapilla* L., elucidates a spectrum of methods applicable for empirical parameterization of the proposed annual fecundity model.*

Стратегии охраны редких и исчезающих видов, мета-популяции, теория источников и раковин, популяционная динамика, модели годовой продуктивности, вероятностные параметры жизненного цикла.

Conservation and management of rare and endangered species, meta-populations, source-sink theory, population dynamics, models of annual fecundity, probability variables in the life-cycle models.

---

Выбор эффективных стратегий охраны редких и сокращающихся видов

Эффективность стратегий охраны и восстановления численности редких и сокращающихся видов во многом зависит от правильного понимания их экологических особенностей, популяционной структуры и пространственно-временной популяционной динамики. Зачастую природоохранные стратегии, направленные на сохранение редких, исчезающих и сокращающихся видов, зиждутся на придании охранного статуса девственным и относительно нетронутым деятельностью человека природным

ландшафтам. В Российской Федерации это - заповедники, в зарубежных странах это - национальные парки и природные резерваты (nature reserves).

В то время, как выделение подобного рода территорий важно для сохранения природных экосистем в целом, их охранный статус не является гарантом восстановления численности редких видов животных, в частности - птиц. Причиной тому служат особенности метапопуляционной динамики. Природные ландшафты фрагментированы так, что местообитания, наилучшим образом подходящие для процветания определенного

вида, чередуются с местообитаниями, малопригодными для этого же вида. В свете теоретической парадигмы метапопуляций, региональная популяция состоит из локальных популяций, постоянно обменивающихся особями по стохастическому принципу [1]. Это может привести к вымиранию локальных популяций в отдельных парцеллах ландшафта независимо от качества местообитания и проводимых природоохранных мер. Данный пример показывает несостоятельность природоохранной стратегии редких видов, сконцентрированных лишь на охране наилучших нетронутых местообитаний. В то же время, согласно теории Г. Пуллиама о динамике региональных популяций по принципу "источников и раковин" (source-sink) [2], такая метапопуляционная динамика может вызвать перенасыщение благоприятных участков местообитаний размножающимися особями и сделать эти участки источниками излишка особей для заселения близлежащих местообитаний худшего качества, называемых раковинами. В этом экологическом сценарии охрана менее качественных участков ландшафта должна быть включена в общую стратегию охраны вида для обеспечения поддержания численности его популяций на уровне, предотвращающем его вымирание.

Негативные популяционные тренды перелетных певчих птиц на востоке Северной Америки зачастую объясняются высоким уровнем хищничества и гнездового паразитизма [3]. Эти гипотезы инициировали многочисленные исследования, сравнивающие успешность размножения и source-sink-динамику популяций птиц в нетронутых и фрагментированных местообитаниях [4, 5].

Для такого рода исследований очень важна адекватная оценка годовой продуктивности птиц. Авторы многочисленных опубликованных работ неправомерно использовали гнездовой успех в качестве суррогата продуктивности [6]. Некоторые виды воробьиных птиц в норме осуществляют несколько гнездовых циклов за сезон размножения, в то время как другие гнездятся лишь один раз. При этом было отмечено, что определенная часть популяции моноциклических видов у южных границ

гнездового ареала способна к повторному размножению [7]. Второе размножение после успешного первого выводка и повторное размножение после неуспешного гнездования проигнорированы большинством опубликованных работ, хотя они и могут обуславливать до 40% годовой продуктивности птиц [8]. Следовательно, оценка годовой продуктивности и скорости популяционного роста могут быть занижены, если демографические модели проигнорируют вышеуказанные параметры [9, 10].

*Seiurus aurocapilla* L. (Emberizidae: Parulinae) - обычный модельный вид певчих птиц, используемый в исследованиях динамики популяций по принципу источников и раковин, в норме гнездится только раз в году [11]. Целью моего исследования было смоделировать source-sink-динамику популяций данного вида в национальном парке Great Smoky Mountains (GSMNP), расположенном на территории штатов Сев. Каролина и Теннесси (США), где *S. aurocapilla* (SA) обитает у южных пределов своего гнездового ареала. Следовательно, было правомерно предположить, что более продолжительный летний период может повысить частоту вторых кладок в популяциях данного вида в этой точке ареала. Многолетняя программа учетов гнездящихся птиц - Breeding Bird Survey (BBS) зафиксировала негативный популяционный тренд данного вида в этой географической зоне, в то время как растущие популяции были найдены в прилежащих фрагментированных ландшафтах, подверженных техногенному воздействию [12]. Для объяснения этих парадоксальных данных я разработал вероятностную модель годовой продуктивности SA, основанную на результатах моих полевых исследований по выявлению успешности размножения, размера успешного выводка и частоте вторых (после успешных) и повторных (после неуспешных) гнездовых циклов в популяции.

Методы: разработка и параметризация моделей популяционного роста

Я проводил свое исследование на 7 участках общей площадью более 700 га в пределах GSMNP, которые располагались на высоте 400-1100 м над уровнем моря и были покрыты

спелым смешанным лесом 75-100-летнего возраста.

Р. Риклефс [13] определил годовую продуктивность (F) как количество молодых самок, произведенных за год среднестатистической размножающейся взрослой самкой в популяции.

Для построения простейшей модели необходимо сделать четыре допущения: стопроцентное участие в размножении взрослых самок в популяции, равное распределение полов в потомстве, моноциклическое размножение и отсутствие повторных гнездовых циклов взамен неуспешных. Тогда годовая продуктивность популяции может быть описана выражением:  $F = 1/2 Bps$  где B - средний размер успешного (т.е. вылетевшего из гнезда) выводка, а ps - это успех размножения, а именно: гнездовой успех по Г. Мэйфилду [14]. По определению Г. Пуллиама [2], скорость популяционного роста  $\lambda = PA + PJ F = 1$  для равновесных популяций,

в то время, как  $\lambda > 1$  для популяций-источников излишка особей расселяющихся в местообитания-раковины, где  $\lambda < 1$ . При этом PA и PJ представляют, соответственно, годовую выживаемость (т.е. выживаемость к началу следующего репродуктивного периода) взрослых и молодых самок. Некоторые из опубликованных моделей популяционного роста SA использовали допущения моноциклическости размножения и отсутствия повторного гнездования [15], другие же допустили возможность одного повторного размножения после неуспеха и второе размножение в популяции на уровне 5-10% [17].

Я построил вероятностную модель годовой продуктивности SA, допускающую одно повторное и одно второе гнездование в популяции. При этом введенные мною в модель переменные предполагали эмпирическое определение их количественного значения в каждой конкретной популяции. Иными словами, я предположил, что числовые значения вероятностей как повторного гнездования (pr), так и второго гнездования (pd), не равны нулю, и в то же время они не могут достигать уровня 100%.

Логика моей модели заключалась в следующем. В популяции имеется ps успешных и (1-ps) неуспешных первых гнезд. В то время как (ps[1-pd]) успешных самок прекратят размножаться, ps pd успешных самок приступят ко второму гнездованию, и для ps<sup>2</sup>pd из них второе гнездование будет успешным. Самки, неуспешные в своем первом гнездовании, осуществят повторное гнездование с вероятностью pr. При этом самки, успешные в повторном гнездовании после неуспешного первого, ps(1-ps)pr, приступят ко второму размножению с вероятностью pd и произведут ps<sup>2</sup>(1-ps)pr pd B потомков. Все самки, осуществившие второе размножение, перестанут размножаться независимо от его исхода. После алгебраических преобразований базовая модель скорости роста популяции [2], дополненная переменными ps и pd, примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \lambda &= PA + PJ \left[ \frac{1}{2} [ps B + ps (1-ps) pr B + ps pd ps B + ps pd ps (1-ps) pr B] \right] = \\ &= PA + PJ \frac{1}{2} B [ps(1+pr) + ps pr + ps pd + ps pd (1-ps) pr] \end{aligned}$$

Дабы избежать необоснованного усложнения, моя модель также предполагает закрытую популяцию, равное соотношение полов, статистическую независимость PA от переменных ps, pr and pd и гомогенность размера успешного выводка B (т.е. постоянство размера успешного выводка независимо от того, идет ли речь о первом гнездовании, повторном гнездовании или же втором гнездовании).

Успех размножения этого наземно гнездящегося вида оценивался эмпирически следующим образом. Поиск гнезд проводился на протяжении трех лет с середины апреля до конца июля в соответствии с существующими рекомендациями по получению репрезентативной выборки для последующей статистической обработки данных [18, 19]. Гнезда проверялись каждые три дня до конца инкубации, через день до достижения птенцами шестидневного возраста и затем ежедневно до тех пор, пока гнездо оставалось активным. Гнезда считались успешными только в том случае, если присутствовали свидетельства успешного вылета птенцов [20].

В случае гибели гнезда личность хищника устанавливалась по косвенным показателям. В некоторых случаях многочасовые наблюдения гнезд в подзорную трубу позволили выявить детали хищничества прямыми наблюдениями. Репродуктивный успех оценивался с помощью расчета ежедневной выживаемости гнезд ( $sd$ ), вероятности успешного размножения ( $ps = sd \cdot m$ , где  $m$  - это продолжительность гнездового цикла в днях) [14] и определения среднего размера успешного выводка ( $B$ ). Оценка вариабельности  $sd$  по годам, по участкам исследования и между последовательными гнездовыми циклами производилась с помощью расчета стандартных ошибок переменной  $sd$  и расчетом  $z$ -статистик [21]. Я рассчитал приблизительные доверительные интервалы для  $ps$  как интервалы значений между максимальной и минимальной оценками. Я использовал  $\chi^2$ -тесты для оценки вариабельности гибели гнезд от хищничества (выраженной в виде пропорции погибших гнезд от общего числа гнезд) по годам, по участкам исследования и между последовательными гнездовыми циклами. Я также провел дисперсионный анализ (ANOVA, *general linear model*), чтобы оценить статистически пространственно-временную гетерогенность среднего размера кладки, размера вылупившегося выводка и размера вылетевшего выводка.

Тогда как прямой метод оценки годовой выживаемости взрослых певчих птиц (путем повторного отлова предварительно помеченных особей) возможен, хотя и очень трудоемок, прямые оценки годовой выживаемости молодых певчих птиц практически полностью отсутствуют вследствие высокого уровня дисперсии слетков в первый год жизни [22]. В своем исследовании я использовал альтернативный метод, основанный на соотношении в популяции певчих птиц двух возрастных групп: птиц второго года жизни - т.е. тех, кто размножается впервые (SY), и совокупности всех птиц третьего года жизни и старше (ASY):  $PA = ASY \div (ASY + SY)$  [13]. Насиживающие самки были аккуратно отловлены с помощью сачка, а их возраст определялся по форме третьего

рулевого пера [23]. Следуя Р. Риклефсу, я рассчитывал  $PJ = 0,5 PA$  [13].

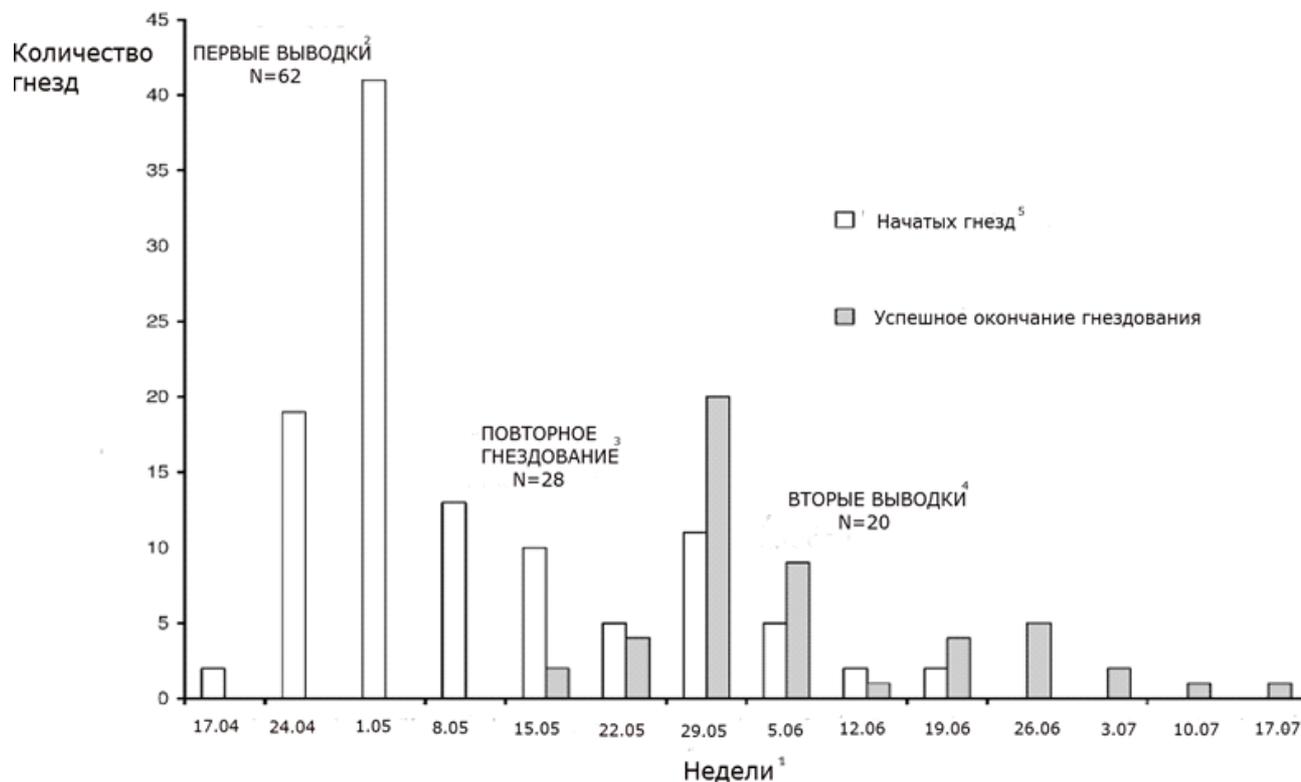
Для расчета вероятностей повторного гнездования и второго размножения я использовал подход, основанный на хронологии размножения, длительности успешного гнездового цикла и продолжительности репродуктивного сезона [10]. Учитывались данные трех лет полевых исследований для оценки длительности репродуктивного сезона (среднее время между началом самого раннего гнездования и самым поздним вылетом птенцов) и продолжительности гнездового цикла (от начала постройки гнезда до вылета птенцов). Потенциально возможное число циклов размножения за сезон определялось делением продолжительности репродуктивного сезона на совокупную длительность одного цикла и интервала между последовательными циклами размножения. Самки SA занимают гнездовые участки в течение недели с момента прилета самых ранних самок. Каждая из них начинает строить первое гнездо в течение 7 дней с момента своего прибытия [11]. Гнезда, начатые в первые три недели репродуктивного сезона, были отнесены к первым выводкам. Гнезда, начатые в течение трех следующих недель, считались повторными попытками гнездования после неуспешной первой. Гнезда, найденные в седьмую и последующие недели репродуктивного сезона, были отнесены ко второму гнездованию после успешного первого [24]. Обеспечивая постоянную интенсивность поиска новых гнезд на протяжении всего репродуктивного сезона и принимая во внимание статистическую независимость найденных гнезд друг от друга, я рассчитывал  $rg =$  количество повторных гнезд  $\div$  [количество первых гнезд  $\times (1-ps)$ ] и  $pd =$  количество вторых гнезд  $\div$  (количество успешных первых гнезд + количество успешных повторных гнезд).

Результаты полевого исследования

В период с 1999 по 2001 в GSMNP было найдено и наблюдалось 110 гнезд SA. В среднем за три года самое раннее гнездование было начато 14 апреля. Самое позднее было начато 20 июня, а вылет птенцов из него

наблюдался 18 июля. Следовательно, продолжительность репродуктивного сезона составила 96 дней. По нашим наблюдениям, средняя продолжительность гнездового цикла составила 31 день в случае первого гнездования и 30 дней для повторных и вторых репродуктивных циклов. Учитывая семидневный интервал между репродуктивными циклами, продолжительность репродуктивного сезона для SA в районе исследований могла позволить максимум два успешных репродуктивных цикла в году:  $96 \div 38 = 2,5$ . Рис. 1 иллюстрирует, как гнезда, найденные в рамках моего исследования, были классифицированы по

принадлежности к определенному гнездовому циклу (первому, повторному и второму). Строительство первых гнезд было начато в среднем 29 апреля  $\pm 0,5$  дней (размах вариации: 14 апреля - 4 мая,  $n = 62$ ). Птенцы из них вылетели в среднем 29 мая  $\pm 0,8$  дней (размах вариации: 15 мая - 2 июня). Пик повторного гнездования (взамен погибших первых гнезд) пришелся на 14 мая  $\pm 1,1$  дней ( $n = 28$ ) с последующим вылетом птенцов (в случае успеха) 11 июня  $\pm 2,3$  дней. Вторые выводки после успешных первых или успешных повторных были начаты в среднем 3 июня  $\pm 1,7$  дней ( $n = 20$ ) и, в случае успеха, вылетели 2 июля  $\pm 2,9$  дней.



1 Даты соответствуют середине каждой недели репродуктивного сезона.

2 Первые три недели репродуктивного сезона соответствуют началу первого гнездования.

3 Гнезда, начатые в течение 4-6-й недель отнесены к повторному гнездованию (взамен погибшего первого гнезда).

4 Гнезда, начатые в течение 7-10-й недель отнесены ко второму гнездованию после успешного первого или успешного повторного.

5 Высота столбцов соответствует количеству гнезд, начатых в данную неделю, либо количеству выводков, покинувших гнезда под наблюдением в течение данной недели.

**Рис. 1. Хронология размножения *Seiurus aurocapilla* L. в GSMNP в 1999-2001 гг.**

Среднегодовой репродуктивный успех был следующим. SA отложили в гнездо в среднем по  $4,49 \pm 0,07$  яиц (размах вариации: 3?6;  $n = 89$ ) и вырастили  $3,79 \pm 0,19$  слетка (размах вариации: 1?6;  $n = 43$ ) в расчете на успешное гнездо. Я не обнаружил статистически достоверных различий в размерах кладки, вылупившегося выводка или вылетевшего выводка в различных участках района исследований. Хотя размер кладки достоверно отличался в разные годы исследований, а также размеры кладки и вылупившегося выводка достоверно уменьшались по мере продвижения репродуктивного сезона, не было обнаружено достоверной пространственной или временной гетерогенности в размере успешного выводка (табл. 1). Это позволило

мне использовать один и тот же размер успешного выводка (B) для всех последовательных гнездовых циклов при параметризации моей модели скорости популяционного роста SA. Различия в уровнях гибели гнезд от хищничества по годам, участкам исследования и между последовательными гнездовыми циклами были статистически недостоверны (табл. 1), а значения ежедневной выживаемости гнезд (sd) не отличались между стадиями кладки и птенцов (в среднем 0,953;  $z = 0,70$ ,  $P = 0,48$ ). Исходя из этих значений, была рассчитана вероятность успешного размножения:  $ps = 0,310$  (доверительный интервал: 0.266?0.362) (табл. 2).

**Таблица 1**

**Анализ временной и пространственной вариабельности репродуктивных параметров *Seiurus aurocapilla L.* и гибели гнезд этого вида от хищничества а**

Статистические сравнения <sup>a</sup>												
Параметры	По годам <sup>b</sup>				По районам исследования				Между последовательными выводками <sup>c</sup>			
	$\chi^2$	F	df	P	$\chi^2$	F	df	P	$\chi^2$	F	df	P
Размер кладки	-	5,62	2	<0,01	-	0,43	6	0,86	-	20,06	2	<0,001
Размер вылупившегося выводка	-	0,83	2	0,44	-	0,59	5	0,71	-	7,47	2	<0,01
Размер вылетевшего выводка	-	0,02	2	0,98	-	1,25	5	0,31	-	1,14	2	0,33
Гибель гнезд от хищничества <sup>d</sup>	0,40	-	2	0,82	0,74	-	4	0,95	0,27	-	2	0,88

<sup>a</sup>  $\chi^2$ -тесты и дисперсионный анализ (ANOVA: general linear model).

<sup>b</sup> 1999, 2000 и 2001.

<sup>c</sup> Первый, повторный (взамен утерянного) и второй выводки.

<sup>d</sup> Пропорции погибших гнезд от общего числа гнезд.

Годовая выживаемость самок SA была рассчитана на 30 пойманных и помеченных гнездящихся самках:  $PA = 0,633 \pm 0,088$ ,  $PJ = 0,317 \pm 0,044$ . Вероятности повторного и второго гнездования были рассчитаны на основе моих полевых данных:  $pr = 28 \div [62 \times (1?0,31)] = 0,655$ , and  $pd = 20 \div 40 = 0,5$  (табл. 2). Затем были использованы эмпирические

значения  $pr$  и  $pd$  для расчета годовой продуктивности и скорости популяционного роста SA. Расчет годовой продуктивности велся в три этапа с использованием средних, минимальных и максимальных значений B, PA, PJ, и ps (табл. 2). Среднее значение  $F = 0,99$  потомков женского рода, произведенных в расчете на одну взрослую гнездящуюся самку (размах вариации: 0,80-1,21). Для сравнения:

среднее значение равновесной годовой продуктивности (т.е. такой годовой продуктивности, которая обеспечивает равновесные популяции) было:  $F^* = 1,16$  молодых самок, произведенных одной взрослой (размах вариации: 0,77-1,67).

Исходя из всех вышеуказанных значений

параметров разработанной мной модели, средняя скорость популяционно роста SA в GSMNP оказалась:  $\lambda = 0,945$  (приблизительный доверительный интервал: 0.764-1.156), что соответствует популяции с прогрессивно снижающейся численностью.

**Таблица 2**

**Эмпирические значения параметров в модели скорости популяционного роста *Seiurus aurocapilla L.* в GSMNP в 1999-2001 гг.**

Параметры модели <sup>a</sup>	$P_A$	$P_J$	$B$	$s_d$	$p_s$	$F^{*b}$	$F^c$	$\lambda^d$
Среднее значение	0,633	0,317	3,79	0,953	0,310	1,16	0,99	0,945
Min <sup>e</sup>	0,545	0,273	3,60	0,947	0,266	2,67	0,80	0,764
Max <sup>e</sup>	0,721	0,361	3,98	0,959	0,362	0,77	1,21	1,156

*Годовая выживаемость взрослой ( $P_A$ ) и молодой ( $P_J$ ) самок, размер успешного выводка ( $B$ ), ежедневная выживаемость гнезд ( $s_d$ ) и успех размножения ( $p_s$ ) рассчитаны на основе результатов данного исследования.*

<sup>b</sup> *Равновесная годовая продуктивность, соответствующая равновесной популяции со скоростью роста  $\lambda = 1$ .*

<sup>c</sup> *Годовая продуктивность, рассчитанная на основе эмпирических значений вероятностей повторных ( $p_r = 0,655$ ) и вторых ( $p_d = 0,5$ ) выводков.*

<sup>d</sup> *Размах значений  $\lambda$  отражает приблизительный 95% доверительный интервал.*

<sup>e</sup> *Минимальные и максимальные значения  $P_A$ ,  $P_J$ ,  $B$ ,  $s_d$  и  $p_s$  отвечают, соответственно, нижним и верхним пределам их 95% доверительных интервалов. Минимальные и максимальные значения  $F$  и  $F^*$  приблизительно соответствуют нижним и верхним пределам их доверительных интервалов. Они были рассчитаны из минимальных или же максимальных значений всех других параметров в уравнении скорости популяционного роста.*

**Обсуждение результатов**

Оценки выживаемости, основанные на повторной поимке предварительно помеченных птиц, как правило, занижены вследствие послегнездовой дисперсии молодых особей [25] и невысокого гнездового консерватизма взрослых птиц [26]. Из немногих опубликованных исследований, осуществивших прямую оценку годовой выживаемости SA, лишь одно рассчитало выживаемость самок этого вида [27], поскольку их гораздо труднее выявить и отловить, чем территориальных самцов. Моя непрямая оценка годовой выживаемости самок, основанная на соотношении возрастных категорий в популяции ( $P_A = 0,633 \pm 0,088$ ), согласуется с недавними опубликованными данными по нетронутым ландшафтам,

рассчитанными на основе возврата колец ( $0,61 \pm 0,09$  [15];  $0,60 \pm 0,06$  [27]). Как явствует из данных таблицы 3 в статье Бэйна и Хобсона [27], моя оценка лежит в верхней части интервала значений годовой продуктивности SA, выявленных разными авторами (размах вариации от 0,02 до 0,85).

В противоречие некоторым опубликованным данным, свидетельствующим о том, что, по мере продвижения репродуктивного сезона, успех размножения SA растет [28], я не обнаружил сезонных различий в размерах успешного выводка и ежедневной выживаемости гнезд в моем исследовании. Поэтому я смог упростить расчет скорости популяционного роста посредством использования одних и тех же значений упомянутых параметров для всех категорий

гнездовых циклов. Как ежедневная выживаемость гнезд в моем исследовании ( $sd = 0,953 \pm 0,006$ ), так и средний размер успешного выводка ( $B = 3,79 \pm 0,19$ ), были определены мной на больших выборках. Оба параметра согласуются с опубликованными данными для обширных нетронутых лесных массивов других географических регионов (значения  $sd$  и  $B$  варьируют, соответственно, в пределах  $0,945 \text{?} 0,985$  и  $2,94 \text{?} 4,30$  [15?17, 29]).

Прямое определение вероятностей повторного и второго размножения с использованием помеченных особей крайне затруднено. Что касается SA, слабо изученные для этого вида явления - такие, как внутрисезонная дисперсия особей и степень гнездового консерватизма, могут завуалировать адекватность расчетных значений  $pr$  и  $pd$  [30]. Достаточно сказать, что практически отсутствуют опубликованные данные по вероятности повторного гнездования у этого вида. В моем исследовании было только три прямых наблюдения второго гнездования и лишь одно прямое свидетельство повторного гнездования SA поблизости от разоренного гнезда. Мои косвенные расчеты этих параметров ( $pr = 0,655$  и  $pd = 0,5$ ) полностью основаны на хронологии гнездования. Обычно SA считается моноциклическим видом. В литературе известны лишь единичные случаи второго размножения у этого вида [11]. Следовательно, предположение, что мои оценки  $pd$  и, как следствие, годовой продуктивности являются заниженными, крайне маловероятно. Следует, однако, отметить, что мое исследование проводилось у южных границ гнездового ареала SA, где, вследствие более продолжительного репродуктивного сезона, мы вправе ожидать более высоких значений  $pd$ , чем в популяциях этого вида далее к северу

Данные BBS для популяций SA в районе южных Аппалачей свидетельствуют о прогрессирующем негативном популяционном тренде с ежегодным снижением популяционной численности в среднем на 1,5% в то время, как близлежащие ландшафты худшего качества поддерживают растущие популяции [12]. Мои эмпирически расчеты скорости популяционного роста SA ( $? < 1$ )

подтверждают данные BBS. Принимая во внимание консервативный протокол мониторинга найденных гнезд, большую выборку найденных гнезд и консервативные критерии оценки успешности гнездования в тех случаях, когда прямые наблюдения за вылетом птенцов или гибелью готового к вылету выводка отсутствовали, я считаю, что мои эмпирические оценки  $pr$  и  $B$  достаточно точны. Моя косвенная эмпирическая оценка годовой выживаемости самок не является неожиданной, т.к. вполне согласуется с опубликованными данными [27]. Она не представляется заниженной - так же, как и мои расчеты вероятностей повторного и второго гнездований. Исходя из всего вышесказанного, я предполагаю, что параметром моей модели, определяющим значение  $? < 1$ , является выживаемость гнезд.

Гибель гнезд от хищничества - это обычная причина неуспешного размножения наземно гнездящихся певчих птиц [31]. Помимо двух случаев потери гнезд из-за гибели взрослых самок от хищников, все остальные случаи неуспешного размножения SA в моем исследовании были связаны с разорением гнезд хищниками. В большинстве опубликованных работ более высокий пресс хищничества привязан к фрагментированным местообитаниям [32]. Однако, это не всегда верно вследствие явления, называемого "парадоксом хищничества" [33]: девственные лесные ландшафты высочайшего качества в GSMNP привлекают не только многообразие гнездящихся певчих птиц, но и разнообразных и обильных хищников из числа млекопитающих и рептилий, разоряющих их гнезда. К таким хищникам в национальном парке, по опубликованным данным [34] и моим наблюдениям, относятся гремучие и крысиные змеи, лесные полевки, лесные крысы; летучие, лисьи, красные и серые белки; опоссумы, рыжие и серые лисы, красные волки, голубые сойки и даже черные медведи. Вследствие присутствия этих хищников, наилучшие девственные ландшафты национального парка не являлись экологически значимыми источниками излишка особей ( $? = 0,945$ ), которые могли бы насыщать местообитания худшего качества - раковины. По сути дела они

действовали как экологические ловушки [35] для особей SA, оценивающих гнездопригодные качества местообитаний чисто визуально - по их общему габитусу. В то же время в некоторых из окружающих национальный парк ландшафтов худшего экологического качества успех размножения и годовая продуктивность SA могла быть выше, что объяснило бы растущие популяции этого вида, о чем свидетельствуют многолетние данные BBS [12]. Причиной этого вполне может служить отсутствие или малочисленность некоторых из вышеперечисленных хищников во фрагментированных местообитаниях. Основным разорителем гнезд там являются не очень многочисленные американские вороны.

#### Выводы

Хотя точные оценки популяционного статуса чрезвычайно важны для разработки демографических моделей, используемых в рациональном природопользовании и охране редких и исчезающих видов [36], современные популяционные модели перелетных певчих птиц обычно основаны на определенных допущениях, касающихся годовой выживаемости самок и эмпирических расчетов годовой продуктивности. Эти модели обычно полностью игнорируют потенциальное

влияние вероятностей повторного и второго размножения на скорость популяционного роста. Точные полевые замеры этих параметров значительно улучшат существующие популяционные модели, разработанные для певчих птиц. Кроме того, когда это технически возможно, предпочтение должно отдаваться методам прямой оценки этих параметров.

Парадокс хищничества может потенциально привести к непредсказуемой популяционной динамике. Таким образом, помимо придания нетронутым ландшафтам, вследствие их кажущегося высокого качества, статуса заказников и заповедников a priori, эффективная стратегия охраны редких видов на региональном уровне должна включать также изучение специфики пространственной и временной динамики популяций охраняемых видов и возможное включение местообитаний худшего качества в региональную сеть охраняемых территорий. Логически возможен сценарий, когда необходимо активно охранять даже участки местообитаний, вообще не занятые в данный момент времени охраняемым видом, но на которые он может впоследствии расселиться в результате динамики своих популяций по типу "источников и раковин".

#### REFERENCES

1. Hanski I. *Metapopulation Ecology*. New York: Oxford University Press, 1999. 328 p.
2. Pulliam H. R. *Sources, Sinks, and Population Regulation* // *American Naturalist*. Vol. 132. 1988. P. 652-661.
3. Askins R. A. *Restoring North America's Birds: Lessons from Landscape Ecology*. New Haven: Yale University Press, 2000. 320 pp.
4. Murphy M. T. *Habitat-Specific Demography of a Long-Distance, Neotropical Migrant Bird, the Eastern Kingbird* // *Ecology*. Vol. 82. 2001. P. 1304-1318.
5. Podolsky A.L., Simons T. R., Collazo J. A. *Modeling Population Growth of the Ovenbird (Seiurus aurocapilla) in the Southern Appalachians* // *Auk*. Vol. 124. 2007. P. 1359-1372.
6. Thompson A.C., Knadle G. E., Brubaker D. L., Brubaker K. S. *Nest Success is Not an Adequate Comparative Estimate of Avian Reproduction* // *Journal of Field Ornithology*. Vol. 72. 2001. P. 527-536.
7. Payevsky V. A. *Avian Demography*. - Saint-Petersburg: Nauka Publishers, 1985. 285 pp.
8. Murray B. G., JR. *Measuring Annual Reproductive Success, with Comments on the Evolution of Reproductive Behavior* // *Auk*. Vol. 108. 1991. P. 942-952.
9. Nagy L. R. and Holmes R. T. *To Double-Brood or Not? Individual Variation in the Reproductive Effort in Black-Throated Blue Warblers (Dendroica caerulescens)* // *Auk*. Vol. 122. 2005. P. 902-914.
10. Grzybowski J. A. and Pease C. M. *Renesting Determines Seasonal Fecundity in Songbirds: What Do We Know? What Should We Assume* // *Auk*. Vol. 122. 2005. P. 280-291.
11. Van Horn M. A. and Donovan T. M. *Ovenbird (Seiurus aurocapillus)* // *Birds of North America / A. Poole and F. Gill (Eds.)*. №. 88. Academy of Natural Sciences, Philadelphia, and American Ornithologists' Union, Washington, D.C.

- 1994.

12. J. R. Sauer, J. E. Hines, and J. Fallon. *The North American Breeding Bird Survey, Results and Analysis, 1966-2004, version 2005.2*. U.S. Geological Survey Patuxent Wildlife Research Center, Laurel, MD. 2005. Available online at: [www.mbr-pwrc.usgs.gov/bbs/bbs2004.html](http://www.mbr-pwrc.usgs.gov/bbs/bbs2004.html).

13. R. E. Ricklefs. *Fecundity, Mortality, and Avian Demography // Breeding Biology of Birds / D. S. Farner (Ed.)*. - Philadelphia: National Academy of Sciences. 1973. P. 366-435.

14. H. F. Mayfield. *Suggestions for Calculating Nest Success // Wilson Bulletin*. Vol. 87. 1975. P. 456-466.

15. P. A. Porneluzi, and J. Faaborg. *Season-Long Fecundity, Survival, and Viability of Ovenbirds in Fragmented and Unfragmented Landscapes // Conservation Biology*. Vol. 13. 1999. P. 1151-1161.

16. T. M. Donovan, F. R. Thompson III, J. Faaborg, and J. R. Probst. *Reproductive Success of Migratory Birds in Habitat Sources and Sinks // Conservation Biology*. Vol. 9. 1995. P. 1380-1395.

17. D. J. Flaspohler, S. A. Temple and R. N. Rosenfield. *Effects of Forest Edges on Ovenbird Demography in a Managed Forest Landscape // Conservation Biology*. - Vol. 15. 2001. P. 173-183.

18. T. E. Martin and G. R. Geupel. *Nest-Monitoring Plots: Methods for Locating Nests and Monitoring Success // Journal of Field Ornithology*. Vol. 64. 1993. P. 507-519.

19. A. D. Rodewald. *Nest-Searching Cues and Studies of Nest-Site Selection and Nesting Success // Journal of Field Ornithology*. Vol. 75. 2004. P. 31-39.

20. J. C. Manolis, D. E. Andersen, and F. J. Cuthbert. *Uncertain Nest Fates in Songbird Studies and Variation in Mayfield Estimation // Auk*. - Vol. 117. - 2000. - P. 615-626.

21. D. H. Johnson. *Estimating Nesting Success: The Mayfield Method and an Alternative // Auk*. - Vol. 96. - 1979. - P. 651-661.

22. P. J. Greenwood and P. H. Harvey. *The Natal and Breeding Dispersal of Birds // Annual Review of Ecology and Systematics*. - Vol. 13. - 1982. - P. 1-21.

23. T. M. Donovan and C. M. Stanley. *A New Method of Determining Ovenbird Age on the Basis of Rectrix Shape // Journal of Field Ornithology*. - Vol. 66. 1995. P. 247-252.

24. A. L. Podolsky. *Behavioral Ecology and*

*Population Status of Wood Thrush and Ovenbird in Great Smoky Mountains National Park / Ph.D. dissertation*. North Carolina State University, Raleigh. 2003.

25. J. D. Nichols, B. R. Noon, S. L. Stokes, and J. E. Hines. *Remarks on the Use of Mark-Recapture Methodology in Estimating Avian Population Size // Estimating Numbers of Terrestrial Birds / Studies in Avian Biology*. - C. J. Ralph and J. M. Scott (Eds.). № 6. 1981. P. 121-136.

26. M. R. Marshall, D. R. Diefenbach, L. A. Wood, and R. J. Cooper. *Annual Survival Estimation of Migratory Songbirds Confounded by Incomplete Breeding Site-Fidelity: Study Designs That May Help // Animal Biodiversity and Conservation*. - Vol. 27. - 2004. - P. 59-72.

27. E. M. Bayne and K. A. Hobson. *Annual Survival of Adult American Redstarts and Ovenbirds in the Southern Boreal Forest // Wilson Bulletin*. - Vol. 114. - 2002. P. 358-367.

28. J. Faaborg, F. R. Thompson III, S. K. Robinson, T. M. Donovan, D. R. Whitehead, and J. D. Brawn. *Understanding Fragmented Midwestern Landscapes: The future // Avian Conservation: Research and Management / J. M. Marzluff and R. Sallabanks (Eds.)*. Washington, D.C.: Island Press, 1998. - P. 193-207.

29. J. C. Manolis, D. E. Andersen, and F. J. Cuthbert. *Edge Effect on Nesting Success of Ground Nesting Birds Near Regenerating Clearcuts in a Forest-Dominated Landscape // Auk*. - Vol. 119. - 2002. P. 955-970.

30. J. S. Howlett and B. J. M. Stutchbury. *Within-Season Dispersal, Nest-Site Modification, and Predation in Renesting Hooded Warblers // Wilson Bulletin*. - Vol. 109. - 1997. - P. 643-649.

31. F. R. Thompson III. *Factors Affecting Nest Predation on Forest Songbirds in North America // Ibis*. Vol. 149. 2007. P. 98-109.

32. A. D. Chalfoun, F. R. Thompson III, and M. J. Ratnaswamy. *Nest Predators and Fragmentation: A Review and Meta-Analysis // Conservation Biology*. Vol. 16. 2002. P. 306-318.

33. D. S. Wilcove. *Nest Predation in Forest Tracts and the Decline of Migratory Songbirds // Ecology*. Vol. 66. 1985. P. 1211-1214.

34. G. L. Farnsworth and T. R. Simons. *Observations of Wood Thrush Nest Predators in a Large Contiguous Forest // Wilson Bulletin*. - Vol. 112. 2000. P. 82-87.

- 
35. B. A. Robertson and R. L. Hutto. *A Framework for Understanding Ecological Traps and an Evaluation of Existing Evidence // Ecology*. Vol. 87. 2006. P. 1075-1085.
36. J. M. Ruth, D. R. Petit, J. R. Sauer, M. D. Samuel, F. A. Johnson, M. D. Fornwall, C. E. Korschgen, and J. P. Bennett. *Science for Avian Conservation: Priorities for the New Millennium / Auk*. Vol. 12. 2003. P. 204-211.
- 

**Подольский Андрей Львович** – PhD по зоологии и экологии в университете Северной Каролины, профессор кафедры "Экология" Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Podolsky Andrei L.** – PhD in Zoology / Ecology, Professor of the Department of Ecology of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

Статья поступила в редакцию 17.12.13, принята к опубликованию 25. 01. 14

УДК 550.834.:624.131.1.553.98.(571.12)

**О.Д. Смилевец, А.К. Шардаков**  
**O.D. Smilevets. A. K. Shardakov**

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЕОФИЗИКИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

### **APPLICATION OF METHODS OF GEOPHYSICS WHEN STUDYING THE TOP PART OF MNOGOLETNEMERZLYKH COAL MINE OF BREEDS FOR DESIGN OF HIGHWAYS**

*В статье на основании материалов полученных в северо-западной части Сибири, показаны возможности геофизических геоинженерных методов при инженерно-геологических изысканиях для строительства технических объектов в районах распространения многолетнемерзлых пород.*

*In article on the basis of materials received in northwest part of Siberia, possibilities of geophysical geoengineering methods are shown at engineering-geological researches for building of technical objects in areas of distribution the mnogoletnemerzlykh of breeds.*

Газонефтекондетсатное месторождение (ГНКМ), многолетнемерзлые породы (ММП), Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), удельное электрическое сопротивление (УЭС)

Gazoneftekondetsatny field (GNKM), mnogoletnemerzly breeds (MMP), Vertical Electric Sounding (VES), specific electric resistance (SER)

---

Возрастающие объемы инженерно-геологических исследований в сложных условиях севера Западной Сибири, требуют привлечения геофизических методов разведки, позволяющих с одной стороны, ускорить процесс проведения исследований и последующей интерпретации полученных

данных, а с другой - повысить качество и информативность результатов. Для решения всех перечисленных задач с успехом могут применяться электроразведочные и сейсморазведочные методы исследований. [1].

В течение 1995-2005 гг. на территории Заполярного газонефтеконденсатного

месторождения (ГНКМ) проводилась инженерно- геологическая съемка, основной задачей которой было определение глубины и формы верхней кровли многолетнемерзлых пород (ММП), их литологии с целью выбора наиболее рационального местоположения прокладки трасс газопроводов, автодорог, площадок кустового бурения скважин, взлетно- посадочных полос для авиатранспорта - получение детальной характеристики инженерно-геологических условий выбранного для строительства участка, обеспечивающей обоснование компоновки сооружений, выбор конструкции фундамента и расчетных схем их основания, а также составление количественного прогноза изменений геологической среды в процессе строительства и эксплуатации сооружений (т.е. прогноза функционирования природно-технических систем) и проектирование мероприятий по защите геологической среды от нежелательных экзогенных процессов.

Перед геофизическими методами исследований ставились задачи:

- определение распространения ММП в плане и по глубине на исследуемом участке;
- определение литологического состава пород;

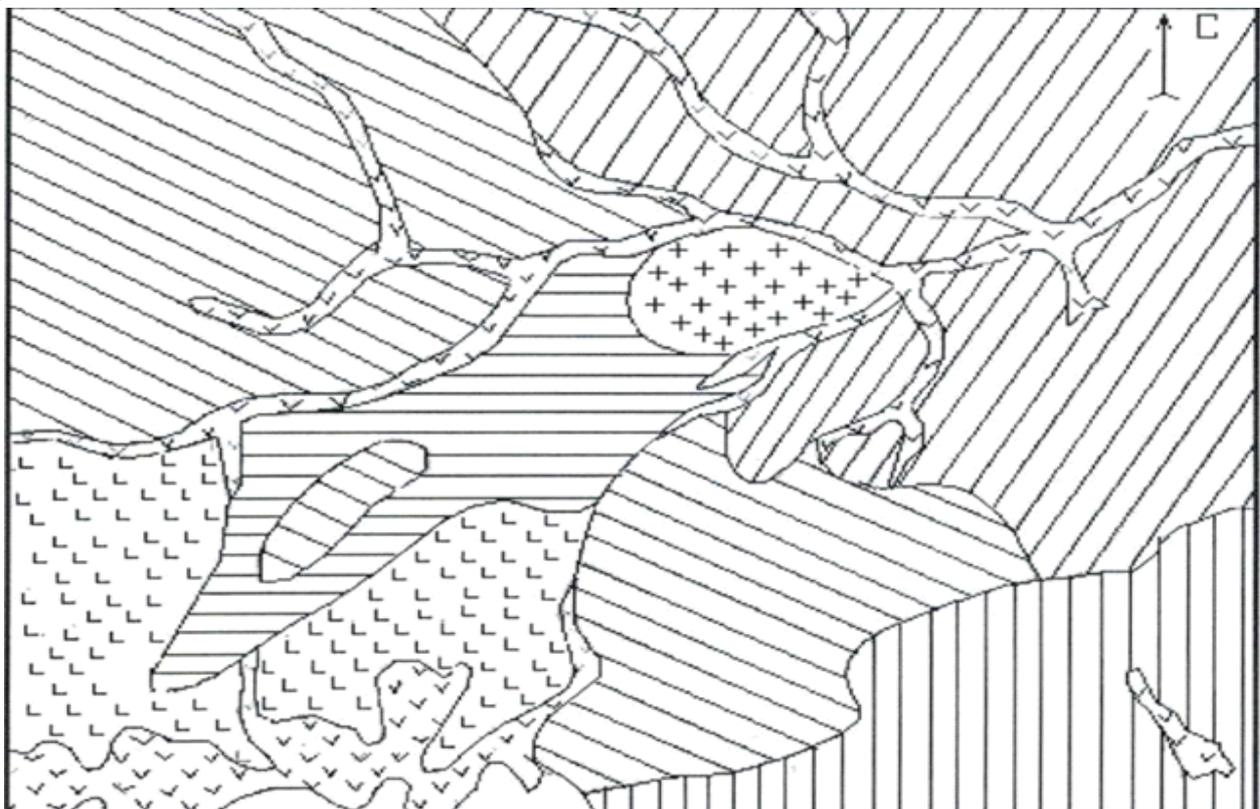
- обследование переходов через водные преграды, с целью определения максимальной глубины протайки ММП под их руслом.

Для этих целей применялись наземные геофизические методы:

- микроэлектрическое зондирование (МКВЭЗ) с  $AB/2 < 50$  М;
- непрерывное электрическое высокочастотное электропрофилирование (НЭП), с величиной разноса  $\gamma = 9$  м;
- сейсмические зондирования (СЗ) с шагом по профилю 2 м.

Кроме того, на контрольных участках (КУ) проводились измерения температуры воздуха и горных пород на разных глубинах и удельного электрического сопротивления (УЭС) пород стационарно закрепленной установкой ВЭЗ с целью более точного определения изменения их сопротивления в процессе протаивания и промерзания верхней части разреза (ВЧР).

Как отмечалось ранее, типы кривых ВЭЗ являются важным признаком при районировании территории по геоэлектрическим условиям [3]. По результатам исследований северной части месторождения была построена карта ареалов распространения типов кривых ВЭЗ (рис. 1).



**Рис.1. Карта ареалов распространения типов кривых ВЭЗ**

Основные типы кривых ВЭЗ и их литолого-геофизическая характеристика представлены в таблице 1, из которой следует, что типы кривых Н, НА, А характеризуют, в основном, присутствие в разрезе суглинистых, песчано-глинистых пород, а кривые типа К, КА-преобладающее наличие песчаных пород. К руслам водотоков приурочены, в основном, кривые ВЭЗ типа Q, QH с небольшими значениями величин УЭС. Преобладающим по ареалам распространения являются кривые типа Н. Основное количество кривых ВЭЗ типа

К отмечается в центральной части исследуемого участка, которая является, вероятнее всего, "останцом" мерзлых пород.

Результаты интерпретации большого количества кривых ВЭЗ позволили систематизировать и обобщить (УЭС) пород, наиболее характерных для ВЧР Заполярного ГНKM. К таким породам относятся суглинки, супеси, пески, торф. Результаты сопоставления литологических данных и электрического сопротивления пород представлены в таблице 1. Из таблицы видно, что породы района

**Таблица 1**

**Типы кривых ВЭЗ для северной части Заполярного ГНKM и их мерзлотно-геологическая характеристика**

Тип разреза	Литологическая характеристика разреза	Тип и форма кривых ВЭЗ	Примечания
	Песчано-глинистые обводненные толщи пород, перекрытые обычно тонким слоем торфа.	 Н (НА)	Кривые этого типа с частыми осложнениями в начальной части кривой. Водотоки небольшой мощности.
	Песчано-суглинистые толщи, сменяющиеся по разрезу водонасыщенными песками.	 Q (QH)	Кривые этого типа в большинстве случаев с частыми осложнениями в верхней части разреза.
	Толщи мерзлых песчаных пород, часто перекрытые мощным слоем мерзлого торфа (с протайкой).	 K (KH)	Кривые этого типа характерны для высоких уступов, либо для открытых тундровых участков с мелкими ручьями.
	Талье в верхней части разреза торф, суглинка, сменяющиеся на мерзлые.	 A (AK)	-

Условные обозначения:

- торф
- песок
- глина
- суглинок
- граница многолетне-мерзлых пород

работают достаточно четко, дифференцируются по сопротивлениям в зависимости от их дисперсности и их криологического состояния.

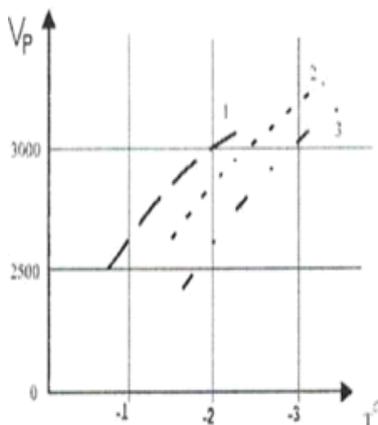
На контрольных участках (КУ) проводилось ежедневное измерение температур воздуха и поверхностного слоя земли на глубине 0,3 м, где была закреплена установка AMNB (AB = 60 см) для измерения УЭС пород.

Проводились контрольные измерения установки МКВЭЗ по всему изученному разрезу. Результаты исследований представлены на рис.4. Изменения температуры пород по стволу контрольных скважин показали, что начиная с глубины 0,5 м до 2 м, температура пород изменяется в пределах + 5°С до 0°С, а с глубины 2 м до 10 м в более узких пределах от 0°С до - 0,6°С.

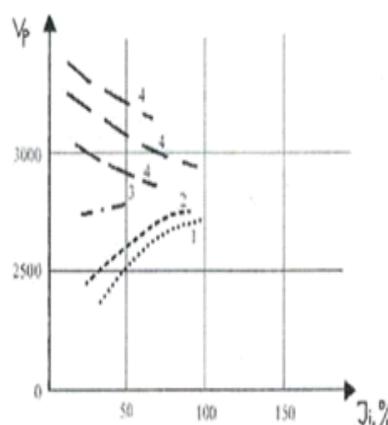
Из анализа полученных данных следует, что с увеличением температуры воздуха возрастает температура верхнего слоя грунта с

соответствующим уменьшением величины его УЭС. С понижением температуры воздуха в осенний период наблюдается обратная картина.

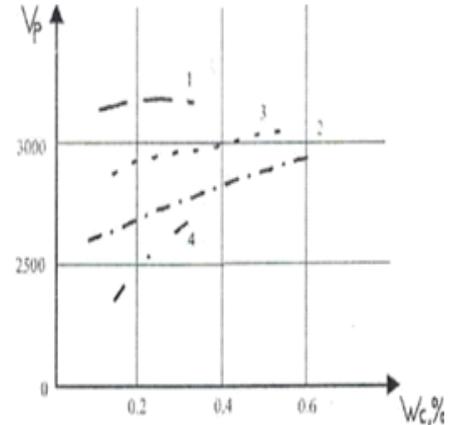
В процессе проведения геофизических работ по геоэкологическому обследованию представилась возможность определить конструкцию находящегося в эксплуатации полотна автодороги г. Уренгой - Заполярное ГНКМ. Положение кровли ММП под полотном автодороги на кривых ВЭЗ четко фиксировалось характерным перегибом, обычно соответствующим глубине 1,2-1,6 метров в зависимости от конструкции земляного полотна. Для контроля определения кровли мерзлых пород использовались специальные щупы длиной 1-1,5-3 метра. Определение глубины проводилось в центральной части полотна, на обочине (на берме) и на некотором от нее удалении.



**Рис.2. Зависимость скорости  $V_p$  от температуры мерзлых суглинков. 1 -  $W_c < 30\%$ ; 2 -  $30\% < W_c < 40\%$ ; 3 -  $W_c > 40\%$ .**



**Рис 3. Зависимость скорости  $V_p$  от льдистости мерзлых суглинков при различных температурах. 1 -  $-1,5^\circ$ ; 2 -  $(-1,5^\circ - 2^\circ)$ ; 3 -  $(-2^\circ - 3^\circ)$ ; 4 -  $(-3^\circ - 4^\circ \text{C})$ .**

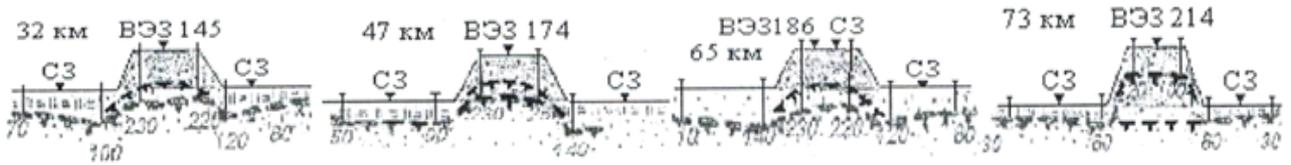


**Рис. 4. Зависимость скорости  $V_p$  от суммарной влажности мерзлых суглинков при различной температуре. 1 -  $> -1,5^\circ$ ; 2 -  $(-2^\circ - 1,5^\circ)$ ; 3 -  $(-2^\circ - 3^\circ)$ ; 4 -  $< -3^\circ \text{C}$ .**

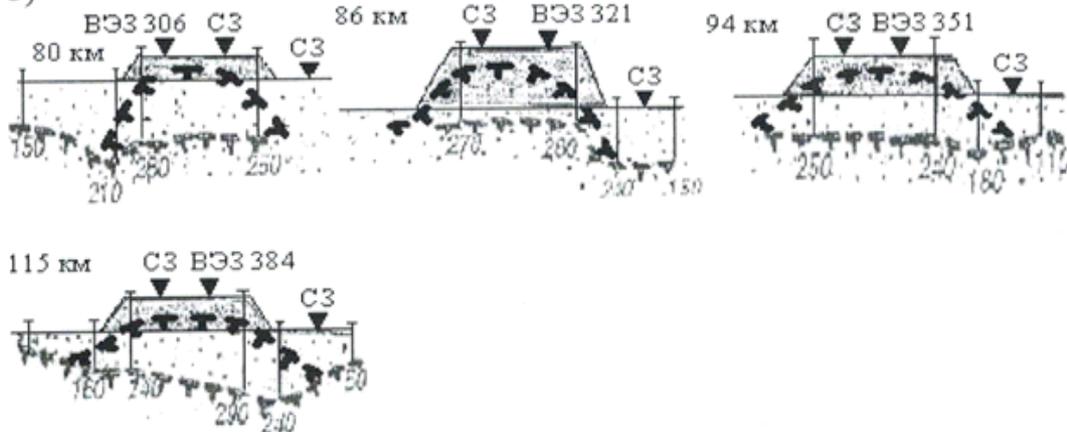
Полученные глубины учитывались при интерпретации кривых ВЭЗ и данных сейсмондирования, являлись дополнительной информацией, тем самым, повышая точность интерпретации. По результатам повторных (проведенных в 2005 г.)

геофизических исследований, зафиксировано поднятие кровли ММП под основанием насыпи автодороги, на 1-1,5 метра после ее эксплуатации автотранспортом, что полностью соответствует принятым ранее прогнозным геоэкологическим решениям.

а)



б)



Условные обозначения:

ВЭЗ 321 ▼ - точки ВЭЗ;

СЗ ▼ - точки сейсмондирования;

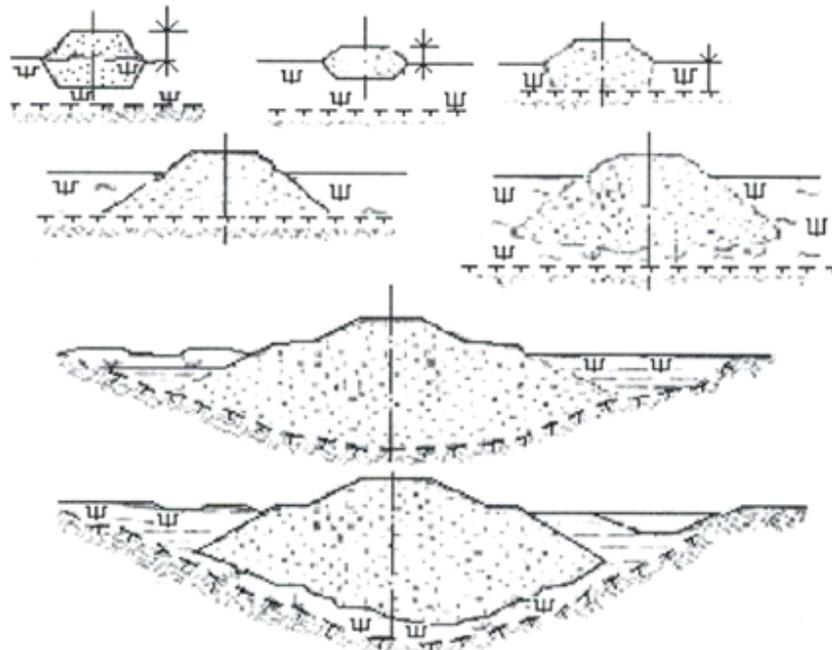


- точки определения положения кровли ММР щупом

**Рис. 5. Положение кровли мерзлых грунтов под насыпями дорог:**  
а) до возведения насыпи; б) после возведения насыпи.

По результатам исследований выявлено, что в ряде случаев в основании откосов насыпи происходит протаивание многолетнемерзлых

грунтов, что при наличии льдистых грунтов приводит к осадкам и потере устойчивости насыпи.



**Рис.6. Типовые схемы насыпей на болотах**

Как известно, болотные отложения по инженерно-геологической классификации относятся к породам особого состава, состояния и свойств, характеризующимся специфическими свойствами, требующим специальных методов исследования и индивидуальной оценки. В строительном отношении они являются слабыми образованиями, сильно и неравномерно сжимаемыми. При выборе мест расположения сооружений стараются по возможности избегать участков, сложенных такими отложениями. Все это показывает, что строительство на болотах и заболоченных территориях - это строительство в особых условиях. Так как такие территории распространены широко, при проектировании и строительстве многих типов сооружений, особенно линейных (дороги, линии электропередачи и др.), с ними приходится встречаться часто.

Строением болот в зонах развития ММП определяются условия освоения и строительства сооружений на занятых ими территориях. Строение болот характеризуется:

1) мощностью болотных отложений и особенно мощностью линз, слоев и залежей торфа; 2) составом, условиями залегания и консистенцией торфа и других болотных отложений; 3) рельефом минерального дна болот. В соответствии с этими характеристиками можно различать три типа болот.

Искусственно отсыпанные и намытые породы часто достаточно однородны, плотность сложения их зависит от времени естественного уплотнения или интенсивности искусственного уплотнения. Условия строительства капитальных сооружений на таких территориях зависят не только от состава и состояния отсыпанных или намытых пород, но и от особенностей состава, состояния и свойств мерзлых пород их подстилающих.

Поэтому для обоснования проекта компоновки сооружений и обоснования проектов отдельных сооружений или их комплексов должны проводиться детальные инженерно-геологические, эколого-геофизические исследования строительных площадок. При строительстве сооружений в

таких условиях должны применяться все меры, предусматриваемые при возведении зданий и сооружений на сильно и неравномерно сжимаемых породах: армированные пояса, осадочные швы, разрезка зданий на отдельные жесткие отсеки, полное или частичное выторфовывание, вертикальные дрены и др. В настоящее время при строительстве сооружений на таких территориях широко применяют свайные основания.

Видом массового строительства на болотах и заболоченных территориях являются дороги, линии электропередачи и некоторые другие линейные сооружения. При проектировании земляного полотна дорог на болотах должны быть выполнены следующие требования: 1) обеспечена устойчивость основания; 2) установлена и по возможности снижена величина осадки; 3) обеспечено завершение интенсивной части осадки в заданный срок; 4) исключены недопустимые упругие деформации насыпей при движении транспорта.

В соответствии с методическими указаниями на проектирование земляного полотна на слабых горных породах насыпи на болотах и заболоченных территориях должны возводиться по специальным типовым схемам. Как видно на рис. 6 выбор схемы определяется строением болот, т. е. мощностью болотных отложений, их состоянием и рельефом минерального дна кровли ММП.

При проектировании насыпей на болотах особое внимание должно быть обращено на выбор грунтов, из которых они должны возводиться, и плотность их укладки в тело насыпей. Рекомендуется применять преимущественно хорошо дренируемые грунты: средне- и крупнозернистые пески, гравий, галечники, щебенистые и грубообломочные. Для выполнения этого требования при инженерно-геологических изысканиях для обоснования проектов земляного полотна необходимо производить поиски, разведку и оценку месторождений требующихся строительных материалов. Породы в тело насыпей на болотах должны укладываться при максимальной их плотности и оптимальной влажности, чем обеспечивается наибольшая их устойчивость и прочность.

Сейсмические методы использовались как

методы определения границ между мерзлыми и тальми породами, как в плане, так и по глубине вдоль трассы автодороги. Для решения этой задачи возможность их использования основывалась на существенном различии сейсмических свойств пород в талом и мерзлом состоянии.

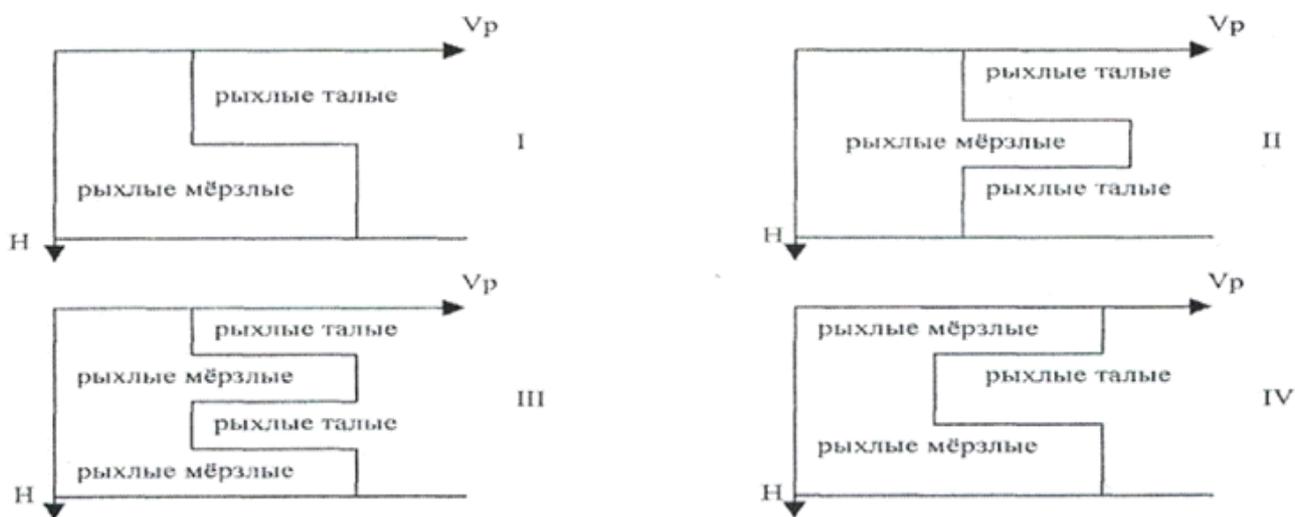
Для возбуждения сигналов при полевых работах использовался "Источник для возбуждения сейсмических "колебаний", разработанный авторами [13].

Использованию сейсморазведочных методов при инженерно-геологических изысканиях в зонах развития ММП способствует и ряд других факторов. К которым следует отнести высокочастотный характер колебаний, что существенно повышает ее разрешающую способность (возможность выделения объектов малых размеров).

Анализ материалов позволил составить несколько основных моделей среды, представленных на рис.7, которые определили подход к интерпретации полученных материалов. Наиболее часто встречаются разрезы типа I, IV

Для супесчано-суглинистых пород степень скоростной дифференциации, зависит как от состава, так и от влажности. Наибольшая степень дифференциации по  $V_p$  наблюдается для крупнообломочных пород высокой влажности. Наименьшая степень дифференциации отмечается для глинистых пород малой влажности. Во всех породах при очень малой влажности переход от положительных температур к отрицательным (мерзлые грунты) не сопровождается резким изменением скорости продольных волн. В рыхлых породах степень скоростной дифференциации зависит от сопутствующей отрицательной температуры и химического состава льда.

Разделение зон развития талых и мерзлых пород по сейсмическим данным сводилась к определению положения и природы неглубоко залегающей сильной преломляющей границы, которая в зоне развития талых пород соответствует обычно границе полного водонасыщения, а в зонах развития мерзлых пород - кровле мерзлоты под слоем сезонного протаивания, при работах в летнее время года.



**Рис.7. Типы геокриологических разрезов для северо-западной части Сибири. (Наиболее часто встречались разрезы типа I, IV)**

Глубина залегания кровли ММП уверенно определяется по результатам наземных сейсмических наблюдений. Наличие на записи высокоскоростной преломленной волны ( $V_p = 800 - 1400$  м/с) является основным критерием для разделения зон талых и мерзлых пород в

плане. На записи удастся надежно отличить границу мерзлых пород от границы полного водонасыщения. При этом продольная преломленная волна, соответствующая кровле ММП, имеет следующие особенности:

- о Более высокую граничную скорость по

сравнению со скоростью прямой волны; о Несколько более высокую преобладающую частоту по сравнению с прямой волной.

Наиболее надежным критерием, позволяющим уверенно выделять кровлю ММП, является наличие на записи обменной преломленной волны в последующих вступлениях, которая по своей интенсивности

заметно превосходит продольную преломленную волну. Таким образом, с помощью наземных сейсмических наблюдений удается уверенно разделять зоны развития мерзлых и талых пород. При этом глубина кровли ММП определяется с высокой степенью точности по скорости упругих волн в породах верхней части разреза Заполярного ГНКМ (табл.2).

Таблица 2

**Скорости упругих волн в породах верхней части разреза**

Порода	Скорости распространения продольных волн в горных породах (V <sub>p</sub> , м/с)		текстура	Интервалы исследования (м)	
	талые	мерзлые			
торф	200- 400		800- 1200	токситовая	0-1,5
		i=0,4	1200(1400 - 2800)		
суглинки	400- 600	i=0,6	2800 - 3200	слоистая	1,5-8,0
		, 1-0,15	600- 1000		
		i=0,20- 0,25	1000-2200	Слоистая, шлировая	
		i=0,3-0,35	2000 - 2200 2200 - 2800	Слоистая, шлировая, толстошлировая, токситовая	
		i=0,40- 0,45	2800 - 3200 3000 - 3600	Слоистая, шлировая, токситовая	
	i=>0,45	3600-4000 4000 - 5000 >5000			
лед			2000 - 3000		

Примечание: i - льдистость пород

Из анализа таблицы 2 следует, что с увеличением величины льдистости пород скорость продольных волн у них возрастает. С увеличением глубины изменяется текстура пород, слоистая структура у мерзлых суглинков изменяется на шлировую и атакситовую. При бурении скважин отмечались шлиры льда толщиной 5-8 и даже 10 см. С увеличением толщины шлиров льда отмечается увеличение скорости продольных волн.

На рис.8, представлены результаты комплексных исследований на контрольных участках (КУ), где проводилось бурение и термокаротаж инженерно-геологических скважин с последующими сейсмическими работами.

Смене литологии и льдистости по стволу скважин соответствует изменение температуры

и скорости продольных волн.

На основе таких исследований были составлены графики зависимости скорости V<sub>p</sub> в мерзлых суглинках от льдистости, температуры и суммарной влажности, которые представлены на рис.8.

На графиках отмечается возрастание величины V<sub>p</sub> с возрастанием величины влажности, льдистости и понижение температуры мерзлых суглинков.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- Используемые геофизические методы разведки при геоэкологическом обследовании зон распространения ММП позволяют получить дополнительную информацию о поведении кровли ММП развития геокриологических процессов.

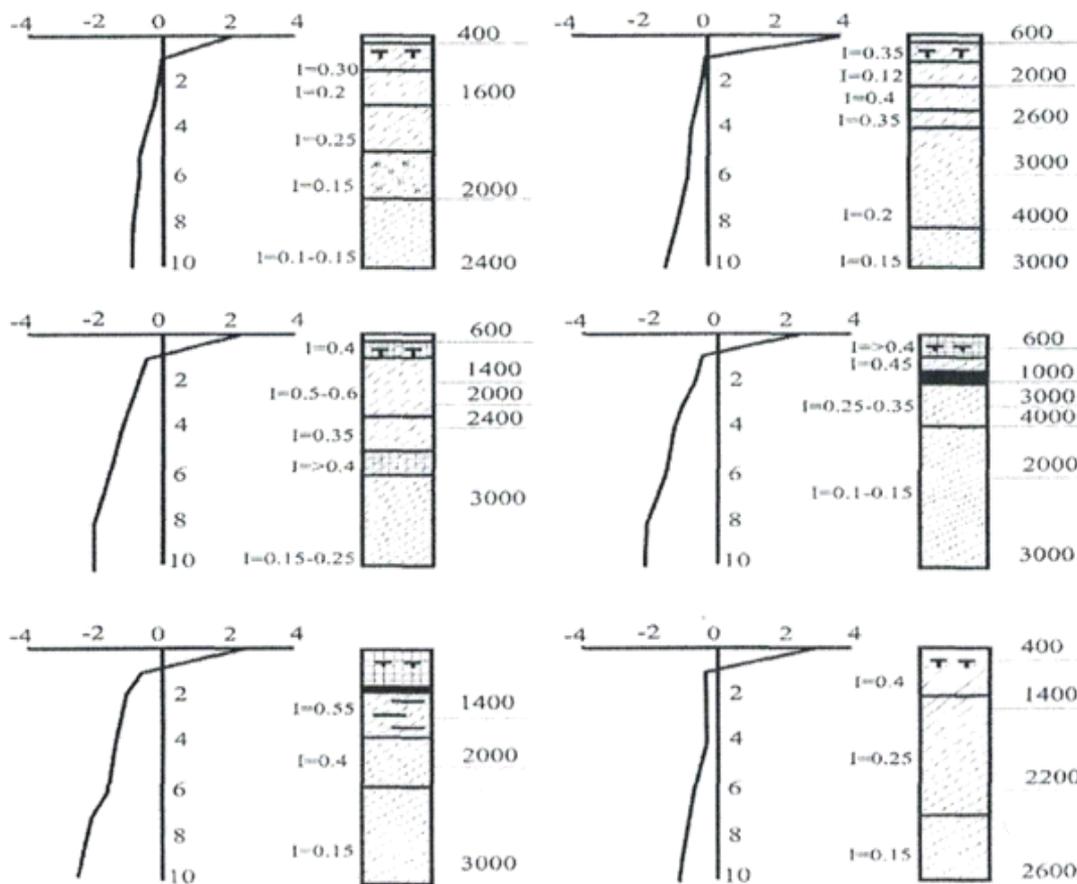
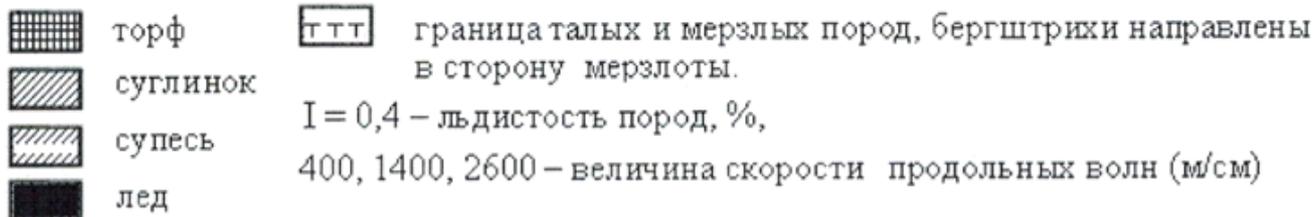


Рис.8. Комплексное исследование ВЧР на контрольных участках.



- Карта типов ВЭЗ отражает послойное строение ВЧР, подобная информация очень важна при проведении строительных работ в зонах развития ММП.

- В зонах развития ММП часто отмечается эффект инверсионности, т.е. возрастания скоростей сейсмических колебаний в ВЧР, который является существенной помехой при проведении полевых работ.

- В районах распространения многолетнемерзлых грунтов следует предусматривать мероприятия, направленные на предупреждение возникновения и активизации термокарста, термоэрозии, термоабразии, пучения, морозного растрескивания, солифлюкции, наледообразования и других криогенных процессов.

**ЛИТЕРАТУРА**

- 1.Акимов А. Т. вопросы теории и практики электроразведки мерзлых пород. Т. VI. М., 1971. Тр. ин-та ПНИИС.
- 2.Горяинов Н. И. сейсмические методы в инженерной геологии. М.: Недра, 1979. с.
- 3.Методические рекомендации по

**REFERENCES**

1. Akimov A. T. questions of the theory and practice of electroinvestigation of frozen breeds. T. VI. - M, 1971. - Тр. in-that PNIIS.
2. Goryainov N. I. seismic methods in engineering geology. - M.: Subsoil, 1979..
3. Methodical recommendations about

применению сейсмоакустических методов при изучении инженерно - геологических условий на БАМе. - М.: ВНИИСТ, 1977. с.

4. Никитин В. Н. Основы инженерной сейсмологии - М.: МГУ, 1981.

5. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии / под ред. Н. Н. Горяинова. - М.: Недра, 1992.

6. Смилевец О. Д. Изучение методом ВЭЗ сезонных изменений сопротивления рыхлых отложений в естественном залегании в районах развития многолетней мерзлоты. - Деп. в ВНИИГазпром 16.01.91. № 1300. - з3 91.

7. Смилевец О. Д. Исследование верхней части разреза Заполярного газонефтеконденсатного месторождения методом высококачественной электроразведки. - Деп. в ИРЦ "Газпром" 17.07.1998, N 1403.-з3 98.

8. Смилевец О. Д., Филиппов О. А., Савельев Д. М., Сулицкий Ф. В., Никифоров А. Н., Поляков А. И., Рейтюхов К. С., Устройство для возбуждения сейсмических колебаний.: Свидетельство №19703 Зарегистрировано в госреестре полезных моделей 27.09.2001 г.

*application of seismoacoustic methods when studying inzhenerno - geological conditions on BAM. - M.: VNIIST, 1977.*

4. *Nikitin V. N. Fundamentals of engineering seismicity - M.: MSU, 1981.*

5. *Application of seismoacoustic methods in hydrogeology and engineering geology / under the editorship of N. N. Goryainov. - M.: Subsoil, 1992.*

6. *Smilevets O. D. Studying by the VEZ method of seasonal changes of resistance of friable deposits in a natural bedding in areas of development of permafrost. - Depp. in Vniigazprom 16.01.91, N 1300. - 91.*

7. *Smilevets O. D. Research of the top part of a section of the Polar gas-oil-condensate field by method of high-quality electroinvestigation. - Depp. in IRTs "Gazprom" 17.07.1998, N 1403. - z3 98.*

8. *Smilevets O. D., Filippov O. A., Savelyev D. M., Sulitsky F. V., Nikiforov A. N., Polyakov A. I., Reytyukhov K. S., the Device for initiation of seismic fluctuations.: The certificate No. 19703 Is registered in the state registry of useful models of 27.09.2001.*

**Смилевец Олег Демьянович** - доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры «Геоэкология и инженерная геология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Шардаков Алибек Какимуллович** - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Геоэкология и инженерная геология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Smilevets Oleg D.** - the doctor of geological and mineralogical sciences, professor of «Geoecology and Engineering Geology» of the Department of Ecology of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

**Shardakov Alibek K.** - the candidate of agricultural sciences, the associate professor «Geoecology and engineering geology» of the Department of Ecology of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

Статья поступила в редакцию 15.12.13, принята к опубликованию 25. 01. 14

## ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ ОСОБО ОХРАНЯЕМОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ «КУМЫСНАЯ ПОЛЯНА»

### ECOPHYSIOLOGICAL CONDITIONS OF SOIL IN THE NATURAL PROTECTED AREA "KUMYSNAYA POLYANA"

*В статье приведены результаты исследования закономерностей изменения концентраций тяжелых металлов, обилия почвенной микрофлоры, почвенного дыхания, а также активности почвенных ферментов каталазы и уреазы в почвах пригородного природного парка с расстоянием от городской черты. Доказано, что основным источником загрязнения почв природного парка является антропогенная - промышленная и транспортная - нагрузка городской среды.*

*We studied ecophysiological conditions of suburban soils (concentrations of four heavy metals, microbial content, soil respiration, along with catalase and urease activity) as a function of proximity to a big industrial city. Our results confirmed statistically significant improvement in soil conditions with a distance from the city limits, which have implied that city pollution had caused suburban soil contamination.*

Эколого-физиологическое состояние почв, почвенная микрофлора, тяжелые металлы, почвенное дыхание, каталаза, уреазы, особо охраняемые природные территории

Soil ecophysiology, soil microbial content, heavy metals, soil respiration, catalase, urease, natural protected areas

Техногенная деятельность человека приводит к загрязнению почв экополлутантами антропогенного происхождения. Эколого-физиологическое состояние почвенного покрова пригородных территорий непосредственно зависит от профиля предприятий, функционирующих в городской среде, и интенсивности транспортного потока на прилегающих автодорогах. Многие из этих предприятий загрязняют почвы урбанизированных территорий тяжелыми металлами [2, 3].

Медь поступает в окружающую среду в результате сжигания ископаемых углеводородов и древесных материалов, производства фосфатных удобрений, применения фунгицидов и инсектицидов; она также присутствует в электротехнических изделиях. Кадмий - продукт сгорания автомобильных покрышек, пластмасс и неэтилированного бензина. Свинец содержится в промышленных и типографских красках, применяется в

производстве аккумуляторов; до 2003 г. одним из ведущих источников его были автомобильные выхлопы, в результате чего большие количества свинца накопились в почвах близ дорог с интенсивным движением. Цинк поступает в придорожное пространство в результате истирания различных деталей, эрозии оцинкованных поверхностей, износа шин, за счет использования в маслах присадок, содержащих этот металл; он также входит в состав широко используемых пестицидов [4].

Антропогенная нагрузка вызывает изменение функциональной и биохимической активности почвенной микрофлоры, что позволяет выбрать её количественный и качественный состав в качестве инструмента мониторинга антропогенных изменений в почвенном покрове [3]. Одним из важнейших факторов эколого-физиологического состояния почв является их биологическая активность (ферментативная активность и почвенное дыхание), которая представляет собой ряд

процессов, катализируемых ферментами, вырабатываемыми почвенными микроорганизмами. Ферментативная активность почвы является прекрасным индикатором антропогенного воздействия на почву [9]. Доказана положительная корреляция между уреазной активностью и содержанием гумуса в почвах, поэтому уровень фермента уреазы влияет на азотный статус почв и их обеспеченность формами азота, необходимыми для минерального питания растений. Гумус является регулятором количества каталазы в почвенном покрове, поэтому уменьшение каталазной активности свидетельствует об ухудшении экологического состояния почв [4].

Наши исследования проведены на территории пригородного парка "Кумысная поляна" (КП) - особо охраняемой природной территории, представляющей собой крупный интразональный лесной массив (4417 га) в степной зоне Саратовского Правобережья. КП снабжает чистым воздухом крупный промышленный центр (г. Саратов) и имеет огромное рекреационное значение для местного населения.

Целью исследования было определение возможных последствий близости крупного города на экологическое состояние пригородных почв.

Исходно была сформулирована рабочая гипотеза о том, что именно г. Саратов служит основным источником загрязнения почв КП. Чтобы протестировать эту гипотезу, исследование было спланировано следующим образом:

- во-первых, в пределах территории КП были выбраны четыре зоны исследования, прилегающие к участкам г. Саратова с различной степенью антропогенной нагрузки (интенсивность движения автотранспорта, наличие промышленных предприятий, гаражных кооперативов и т.п.). Это Октябрьское и Смирновское ущелья, которые удалены от автодорог и промышленных предприятий, но испытывают антропогенную нагрузку вследствие наличия санатория, областной больницы, завода свинцовых аккумуляторов и частного жилого сектора. Это также участки леса КП, прилегающие к 4-й Дачной, где преобладает воздействие промышленных

предприятий, автомобильного транспорта и крупных гаражных кооперативов, и 10-й Дачной, где загрязнению способствует магистральная автомобильная дорога;

- во-вторых, в пределах каждой из указанных зон были выделены по три участка различной удаленности от городской черты: близкорасположенный (500 м), среднерасположенный (1000 м) и дальне расположенный (1500 м).

Материалы и методы. В июле-октябре 2013 и 2014 гг. в каждом из трех участков всех зон исследования брали пробы почв и анализировали их в испытательной аккредитованной лаборатории ИЛЦ "ЭкоОС" СГТУ и на базе НОЦ "Промышленная экология" кафедры экологии СГТУ имени Гагарина Ю.А. с использованием аттестованных методик и поверенного оборудования.

Для характеристики экологического состояния пригородных почв анализировали показатели загрязненности соединениями тяжелых металлов (ТМ), активность почвенного дыхания и почвенных ферментов (каталазы и уреазы), качественный и количественный микробиологический состав.

Концентрации ТМ (меди, кадмия, свинца и цинка) в почве проводили в соответствии с методическими указаниями и РД (СанПиН 42-128-4433-87; ГОСТ 28168-89; РД 52.18.289-90; РД 52.18.156-99), а также методом пламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии в соответствии с ПНД Ф 14.1:2.214-06 [1, 5, 6, 8]. Исследование выполняли на атомно-абсорбционном спектрофотометре марки WFX-120. Концентрации пересчитывали в мг/кг почвы.

Активность каталазы в почве определяли по измерению скорости распада перекиси водорода при ее взаимодействии с почвой по объему выделяющегося кислорода. Определение уреазной активности в почве было основано на учете количества аммиака, образующегося при гидролизе мочевины, по скорости изменения рН среды. Методика определения почвенного "дыхания" была основана на измерении количества CO<sub>2</sub>, выделяющегося из почвы за определенный промежуток времени, методом титрования [8, 9].

---

Микробиологический состав почв определяли посевами почвенных взвесей на дифференциально-диагностические среды в день отбора почвенных образцов по стандартной методике [7]. Для выделения и количественного учета гетеротрофных микроорганизмов использовали ГРМ-агар, а для выделения микромицетов - среду Сабуро. Учет численности микроорганизмов производили на 2-й - 5-й день путем подсчета числа выросших колониеобразующих единиц (КОЕ) и выражали в КОЕ/10<sup>7</sup> /г почвы [8].

Для статистической обработки результатов использовали программу MINITAB [10]. В первую очередь проводили однофакторный дисперсионный анализ изучаемых показателей состояния почв в четырех зонах исследования, в результате чего вычисляли вероятность различий между зонами,  $R_{зон}$ . Затем проводили однофакторный дисперсионный анализ зависимости изучаемых характеристик почвы от удаленности от городской черты, дающий значение Рудал. В случае недостоверности значений  $R_{зон}$  или Рудал проводился многофакторный дисперсионный анализ на вероятность различий в пространственной динамике изучаемых показателей между участками различной удаленности и зонами исследования одновременно, в результате чего вычислялись значения Рудал/  $R_{зон}$ .

Полученные результаты и их обсуждение. Результаты исследования пространственной динамики концентраций тяжелых металлов в почвах КП (табл. 1) показали ее независимость от выбора зоны исследования в пределах КП в случае меди и цинка. Для кадмия и свинца отмечена сильная зависимость такого рода ( $R_{зон} < 0,001$ ): оба ТМ выявлены на исследуемых территориях 4-й и 10-й Дачных в 1,5-4,5 раза больших концентрациях, чем в Октябрьском и Смирновском ущельях. Это, возможно, связано с многократными различиями зон исследования по интенсивности транспортных потоков в прилегающих участках города.

При этом была подтверждена высокая статистическая достоверность уменьшения концентраций всех четырех ТМ по мере удаления от границ города Саратова. Концентрации меди, цинка и свинца были ниже установленных значений ПДК для почв, в то время как для кадмия - на уровне ПДК в почве среднерасположенных участков, и почти с двукратным превышением в среднем - в почвах близкорасположенных участков.

Широко распространенная порочная практика сжигания старых покрышек на территориях гаражных кооперативов, а также транспортные пробки в городе, вызывающие сжигание большого количества неэтилированного бензина, вероятно, объясняют высокие концентрации кадмия в природном парке. Закономерное уменьшение концентраций всех ТМ по градиенту "город - внутренняя часть КП" подтверждало рабочую гипотезу о том, что именно близость города является основным фактором загрязнения пригородных почв тяжелыми металлами.

Результаты исследования микробиологического состава почв показали высоко достоверную ( $R_{зон} < 0,001$ ) пространственную динамику обилия исследованных эколого-физиологических групп микроорганизмов в пределах КП (табл. 2). Показательно, что наибольшая численность как гетеротрофных бактерий (181/10<sup>7</sup> КОЕ/г), так и микромицетов (194/10<sup>7</sup> КОЕ/г), играющих важную роль в минерализации органического вещества, выявлена в почвенных пробах из Смирновского ущелья. Минимальные значения этих показателей были в пробах почв лесной зоны 4-й Дачной (94/10<sup>7</sup> КОЕ/г и 91/10<sup>7</sup> КОЕ/г, соответственно). Это соответствует фактам самой низкой (из четырех зон) антропогенной нагрузки именно в районе Смирновского ущелья, а самой высокой - на территории 4й Дачной. Полученные данные указывают и на то, что численность почвенных гетеротрофных микроорганизмов достоверно увеличивается от границ города вглубь природного парка (Рудал = 0,017).

Таблица 1

**Пространственная динамика загрязнения почвы природного парка "Кумысная поляна" тяжелыми металлами, мг/кг почвы**

Участки отбора проб	Медь	Кадмий	Цинк	Свинец
Близкорасположенные	0,47 ± 0,03	0,86± 0,05	0,38± 0,06	0,82± 0,09
Среднерасположенные	0,25 ± 0,01	0,44 ± 0,03	0,19 ± 0,04	0,52 ± 0,09
Дальне расположенные	0,12 ± 0,01	0,23 ± 0,03	0,09 ± 0,02	0,34 ± 0,08
ПДК (мг /кг почвы)	3,0	0,5	23,0	30,0
Достоверность различий по исследовательским зонам, $P_{зон}$	0,288	<0,001	0,120	<0,001
Достоверность различий по удаленности, $P_{удал}$	<0,001	0,001	<0,001	0,001
Достоверность различий по удаленности и исследовательским зонам одновременно, $P_{удал} / P_{зон}$	<0,001/<0,001	–	<0,001/<0,001	–

Таблица 2

**Пространственная динамика обилия двух групп почвенных микроорганизмов в природном парке "Кумысная поляна", КОЕ?107 /г почвы**

Зоны* и участки° отбора проб	Гетеротрофы	Микромицеты
Октябрьское ущелье*	165 ± 09	103 ± 04
Смирновское ущелье*	181 ± 14	194 ± 12
4-я Дачная*	94 ± 02	91 ± 05
10-я Дачная*	116 ± 04	107 ± 02
$P_{зон}$	< 0,001	< 0,001
Близкорасположенный°	114 ± 06	108 ± 09
Среднерасположенный°	137 ± 10	120 ± 11
Дальне расположенный°	166 ± 18	144 ± 18
$P_{удал}$	0,017	0,153
$P_{зон} / P_{удал}$	< 0,001 / < 0,001	< 0,001 / < 0,001

Что касается микромицетов, однофакторный дисперсионный анализ не дал достоверных различий их обилия в зависимости от удаленности от городской черты (Рудал = 0,153). Однако, предполагая, что истинный тренд зависимости от удаленности может затушевываться достоверной разницей их обилия в зонах исследования, был проведен многофакторный дисперсионный анализ,

результат которого подтвердил наличие высоко достоверного ( $R_{удал} < 0,001$ ) увеличения обилия микромицетов по градиенту "город - дальне расположенные участки КП".

Результаты исследования ферментативной активности почв и почвенного дыхания (табл. 3) показали независимость их пространственной динамики от выбора зоны исследования в пределах КП.

**Таблица 3**

**Пространственная динамика биологической активности почв природного парка "Кумысная поляна"**

Участки отбора проб (по удаленности от города)	Почвенное дыхание: мг $O_2$ /дм <sup>2</sup> /ч	Каталаза: мл $O_2$ /1г почвы за 1 мин	Уреаза: скорость изменения рН за 1 час
Близкорасположенный	0,20 ± 0,02	0,22 ± 0,03	7,75 ± 0,14
Среднерасположенный	0,30 ± 0,03	0,58 ± 0,06	8,25 ± 0,14
Дальне расположенный	0,50 ± 0,04	1,08 ± 0,08	8,75 ± 0,27
Достоверность различий по удаленности от города: $R_{удал}$	0,012	0,001	0,176
Достоверность различий по зонам исследования: $R_{зон}$	0,361	0,690	0,150
Достоверность различий по удаленности и зонам одновременно: $R_{удал} / R_{зон}$	–	–	0,064 / 0,059

При этом была подтверждена высокая статистическая достоверность увеличения двух показателей биологической активности почв (почвенного дыхания и каталазной активности) по мере удаления от границ города Саратова.

Увеличение уреазной активности почв КП по мере удаления от городской черты, хотя и прослеживалось по средним значениям скорости изменения рН, оказалось статистически недостоверным ( $R_{удал} = 0,176$ ). Однако довольно низкое значение  $R_{зон}$  для уреазы (0,15) позволило предположить наличие "маскирующего" эффекта зоны исследования на пространственную динамику уреазной активности. Проведенный многофакторный дисперсионный анализ подтвердил это предположение: при одновременном анализе влияния зоны и удаленности на уреазную активность, оба значения  $P$  максимально приближались к достоверному уровню:  $R_{удал} = 0,064$  и  $R_{зон} = 0,059$ . Для почв близкорасположенных участков КП (независимо от уровня антропогенной нагрузки в зонах исследования) были характерны низкие

уровни почвенного дыхания и ферментативной активности. По мере продвижения вглубь лесного массива, т.е. по мере удаления от городской черты, эти показатели биологической активности почв увеличивались, что свидетельствует об улучшении экологического состояния почвенного покрова по градиенту "город - внутренняя часть природного парка".

Таким образом, полученные нами результаты свидетельствуют о закономерном ухудшении эколого-физиологического состояния почв КП по мере приближения к городской черте. Большинство наблюдаемых закономерностей оказались статистически достоверными. Это подтверждает нашу рабочую гипотезу о том, что антропогенный прессинг промышленных районов г. Саратова и его автомобильные магистрали служит основным источником загрязнения пригородных почв. Это, в свою очередь, оказывает негативное влияние на жизнедеятельность почвенной микрофлоры и, как следствие, на эколого-физиологическое состояние пригородных почв.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. - Введ. 1983 -12 - 21. - М.: Изд-во стандартов, 2004. - 2-4 с.
2. Девятова Т.А. Биодиагностика техногенного загрязнения почв // Воронежский государственный университет. Экология и промышленность России. 2006. №22. С. 36-49.
3. Казеев К.Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований /К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, В.Ф. Вальков. - Ростов н/Д: Изд-во Рост.ун-та, 2003. -204 с.
4. Решетов Г.Г., Белов В.С., Корсак В.В. Нарушенные почвы Саратовской области. - Саратов: СГСЭУ, 2008. 180 с.
5. РД 52.18.289-90 Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, цинка, свинца, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом.
6. Теплая Г.А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды // Астраханский вестник экологического образования. 2013. № 1 (23). С. 182-192.
7. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии. - 5-е изд. / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева //М.: Дрофа, 2004. - 256 с.
8. Федорец Н.Г., Медведева М.В. Методика исследования почв урбанизированных территорий - Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. - 84 с.
9. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
10. MINITAB® Software for Windows. - 2010. - Version 16.2.2. Minitab Inc., State College, PA.

## REFERENCES

1. Standard 17.4.3.01-83. The Nature Conservancy. Soil. General requirements for sampling. - Enter. 1983 -12 - 21 - M. : Publishing House of Standards, 2004. - 2-4 p.
2. Devyatova T.A. Biological diagnosticsofpollutedsoils under human impact // Voronezh State University. Russian Ecology vs. Industry. - 2006. - #22. - P. 36-49.
3. Kazeev, K.S. Laboratory diagnosis and indication of soil: methodology and research methods / K.S.Kazeev, S.I.Kolesnikov, V.F.Val'kov. - Rostov n / D: Publishing House of growth. University Press, 2003. - 204 p.
4. Reshetov G.G., Belov V.S., Korsak V.V. Narushennyye pochvy Saratovskoi oblasti. - Saratov: SGSEU, 2008. - 180 s.
5. RD 52.18.289-90 Metodicheskie ukazaniya. Metodica vypolneniya izmerenii massovoi doli podvizhnyh form metallov (medi, tsinka, svintsa, nikelya, kadmiya, kobalta, hroma, margantsa), v probah pochvy atomno-absorbtsionnym analizom.
6. Teplaya G.A. heavy metals as polluting factor for environment // Astrakhan Herald of Environmental Education. - 2013. - #1(23). - P. 182-192.
7. Tepper E.Z. Lab manual in microbiology. - 5th ed. / E.Z. Tepper, V.K. Shilnikova, G.I. Pereverzeva // Moscow: Drofa, 2004. - 256 p.
8. Fedorets N.G. Methods of soil research for urban areas / N.G. Fedorets, M.V. Medvedeva // Petrozavodsk: Karel Science Center RAS, 2009. - 84 p.
9. Haziiev F.H. Methods of soil enzymology. - Moscow: Nauka, 2005. - 252 p.
10. MINITAB® Software for Windows. - 2010. - Version 16.2.2. - Minitab Inc., State College, PA.

**Тихомирова Елена Ивановна** – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой "Экология" Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

**Подольский Андрей Львович** – PhD по зоологии и экологии в университете Северной Каролины, профессор кафедры "Экология" Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Tikhomirova Elena I.** – Doctor of Science in Biologics, Professor, Head of the Department of Ecology of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

**Podolsky Andrei L.** – PhD in Zoology / Ecology, Professor of the Department of Ecology of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

---

*Лобачев Юрий Юрьевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры Экологии Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А*

*Lobachev Yu. Yu – Candidate of Science in Biologics, associate professor of the Department of Ecology of Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.*

*Статья поступила в редакцию 21.12.13, принята к опубликованию 25. 01. 14*

УДК 574.21

**А.А. Фомина**

**A.A. Fomina**

## **АККУМУЛЯЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ РОГОЗА УЗКОЛИСТНОГО (TYPHAANGUSTIFOLIAL.) ПО ОТНОШЕНИЮ К ТЯЖЕЛЫМ МЕТАЛЛАМ**

### **ACCUMULATION ABILITY OF CATTAILS (TYPHA ANGUSTIFOLIA L.) TOWARDS HEAVY METALS**

*Проведен химический анализ содержания тяжелых металлов в *Typhaangustifolia*L. и донных отложениях, собранных на мелководных участках Волгоградского водохранилища у крупного промышленного узла Саратов-Энгельс. Установлено, что корневища рогоза узколистного являются концентраторами таких тяжелых металлов как  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и  $Co^{2+}$ , в связи с чем можно рекомендовать использовать *T. angustifolia* для проведения очистки и доочистки водоемов.*

*We conducted chemical analysis of heavy metal accumulation in cattails (*Typhaangustifolia* L.) and bottom sediments at the shallow sections of the Volgograd Reservoir near a large industrial site Saratov-Engels. We observed that rhizomes of *T. angustifolia* were concentrators of ions of heavy metals ( $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ), therefore we recommend using this plant for water treatment and purification.*

Тяжелые металлы, рогоз узколистный, высшая водная растительность, очищение воды, Волгоградское водохранилище

Heavy metals, *Typha angustifolia*, higher aquatic plants, water purification, Volgograd Reservoir.

В настоящее время техногенная нагрузка на водоемы постоянно возрастает. Экосистема Волгоградского водохранилища также находится под сильным антропогенным прессом, что приводит к изменению процессов самоочищения и самовосстановления водоема. Это отрицательно сказывается на качестве воды, которая чрезвычайно важна для нашего региона в связи с тем, что водохранилище является основным поверхностным источником водозабора для коммунально-бытовых и промышленных нужд населения, а также местом сброса сточных вод. Кроме того в Волжском каскаде гидротехнических сооружений Волгоградское водохранилище является заключительным звеном и за длительный период своего существования

накопило значительное количество трудно минерализуемых веществ природного и антропогенного происхождения, в том числе и тяжелых металлов [1].

Тяжелые металлы занимают особое место среди техногенных веществ, поступающих в водоемы. В отличие от органических токсикантов они не подвергаются распаду, а, попадая в биогеохимические циклы, остаются в них, включаясь в круговорот веществ.

Известно, что именно высшие водные растения (ВВР) являются средообразующим компонентом водных экосистем. Наибольшее распространение они получают в водохранилищах и других водоемах с замедленным водообменом. Например, макрофиты Волгоградского водохранилища

образуют около 30 % первичной продукции растительных сообществ [2]. Хорошо известна способность ВВР поглощать биогенные элементы, органические и минеральные вещества, накапливать ионы тяжелых металлов и радионуклиды, концентрировать макро- и микроэлементы в клетках и тканях [3].

Уникальная способность водных растений служить естественным биофильтром позволяет использовать их для улучшения качества сточных вод [4]. Очистные устройства и сооружения, основанные на применении сообществ гидрофитов, успешно внедряются в инновационные системы очистки и доочистки стоков животноводческих комплексов, а также на прудах-отстойниках [5].

Устойчивость высшей водной растительности к кратковременным всплескам загрязнения и ее способность аккумулировать в больших количествах различные вещества, в том числе и тяжелые металлы, обуславливает перспективность их использования в региональных мониторинговых системах.

В качестве объекта исследования был выбран рогоз узколистный, который является одним из самых распространенных представителей макрофитов Волгоградского водохранилища и относится к экологической группе воздушно-водных (полупогруженных) растений. В течение вегетационного периода эти растения образуют огромные заросли на мелководьях и могут являться потенциальными накопителями ксенобиотиков и непосредственно участвовать в процессах очищения природных вод.

Целью нашего исследования являлось изучение особенностей накопления тяжелых металлов рогозом узколистным и выявление его роли в процессах самоочищения и самовосстановления Волгоградского водохранилища.

Работа была выполнена в биологической лаборатории кафедры экологии Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А. Сбор растений производился в конце октября 2010, 2012 г. на мелководных участках Волгоградского водохранилища у промышленного узла Саратов-Энгельс: выше по течению - у села Генеральское и ниже по течению - у поселка Квасниковка. Отбор образцов донных

отложений, растительного материала и их химический анализ проводили по общепринятым ГОСТам [ГОСТ Р 51592-2000; ГОСТ 26929-94] и по методикам практикума по агрохимии [6]. Содержание металлов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Co}^{2+}$  в золе растений и в донных отложениях определяли фотометрическими методами с помощью фотометра КФК-3.

Цинк относится к биогенным элементам и постоянно присутствует в тканях растений и животных. Без этого микроэлемента невозможен рост и нормальное развитие организмов. В то же время некоторые соединения цинка проявляют токсические свойства, особенно, его сульфаты и хлориды. Было исследовано накопление  $\text{Zn}^{2+}$  в рогозе узколистном, собранном на мелководьях у с. Генеральское (табл.). Установлено, что средняя концентрация цинка в растении составляла  $1,82 \pm 0,34$  мг/кг. Необходимо отметить, что распределение металла в растительных органах рогоза узколистного носило традиционный характер, и его содержание уменьшалось в ряду: корневище > стебель > листья > соцветия. Показано, что листья растения накапливали  $\text{Zn}^{2+}$  меньше в 3,5 раза, а соцветия в 4,7 раза соответственно по сравнению с корневищем. В исследованных донных отложениях мелководий у с. Генеральское содержание  $\text{Zn}^{2+}$  было в 4 раза больше по сравнению со средним содержанием металла в растении.

Установлено, что содержание цинка в *T. angustifolia*, собранном на мелководьях у п. Квасниковка, было  $2,25 \pm 0,13$  мг/кг, что больше на 20 % по сравнению с таковой для рогоза с мелководных участков с. Генеральское. При сравнении накопления цинка различными органами растения у исследуемых пунктов, отмечено, что листья и корневища *T. angustifolia*, отобранного у п. Квасниковка, содержали в 3 и 1,5 раза больше металла, чем аналогичные органы из с. Генеральское.

Полученные результаты согласуются с данными [2] о том, что среднее содержание цинка в речной воде Волгоградского водохранилища соответствует уровню рыбохозяйственных ПДК.

Медь относится к важнейшим микроэлементам для всех живых организмов. Ее физиологическая активность связана в

Таблица

**Содержание тяжелых металлов в различных органах рогоза узколистного и донных отложениях с мелководий Волгоградского водохранилища**

ВВР	Растительный орган	Концентрация металла, мг/кг			
		Zn <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Co <sup>2+</sup>
с. Генеральское					
<i>Typhaangustifolia</i>	Среднее содержание	1,82±0,34	0,52±0,05	0,58±0,09	0,39±0,0
	Корневище	3,18±0,30	1,12±0,10	0,80±0,16	0,52±0,1
	Стебель	2,51±0,18	0,27±0,03	0,73±0,12	0,41±0,0
	Листья	0,91±0,09	0,22±0,04	0,62±0,08	0,36±0,0
	Соцветия	0,67±0,08	0,47±0,03	0,18±0,01	0,27±0,0
Донные отложения	-----	7,27±0,05	0,44±0,05	0,95±0,11	0,66±0,1
п. Квасниковка					
<i>Typhaangustifolia</i>	Среднее содержание	2,25±0,13	0,17±0,03	0,68±0,06	0,40±0,0
	Корневище	4,63±0,25	0,18±0,01	0,89±0,07	0,5±0,10
	Стебель	0,79±0,06	0,23±0,02	0,65±0,09	0,38±0,0
	Листья	1,31±0,08	0,10±0,06	0,50±0,02	0,32±0,0
Донные отложения	-----	9,18±0,70	0,36±0,04	1,23±0,28	0,82±0,1

основном с тем, что медь является составной частью активного центра некоторых окислительно-восстановительных ферментов. Однако, известно, что повышенные концентрации меди оказывают сильное токсическое воздействие на живые организмы. При изучении накопления Cu<sup>2+</sup> в рогозе узколистном, собранном у с. Генеральское, установлено, что средняя концентрация меди в растении составляла 0,52±0,05 мг/кг. Показано, что наибольшей аккумулирующей способностью обладало корневище рогоза. Концентрация Cu<sup>2+</sup> в различных органах растения убывала в ряду: корневище - соцветие - стебель - листья. Полученные результаты могут быть связаны с известной закономерностью распределения Cu<sup>2+</sup> в растительных органах: корни > зерно > солома [7]. В донных отложениях с данного мелководного участка содержание меди было практически одинаково с таковой для всего растения.

Показано, что средняя концентрация меди в исследуемом растении с мелководий п. Квасниковка была значительно в 3 раза меньше

по сравнению с таковой для рогоза с мелководий у с. Генеральское. Возможно, это связано с высокой степенью зарастания мелководий у п. Квасниковка, а также неравномерным характером распределения тяжелых металлов по Волгоградскому водохранилищу [1]. Имеются данные [8], что среднее содержание некоторых металлов в растениях уменьшается с повышением степени зарастания водоема. Кроме того, процесс накопления металла в растительном организме зависит от ряда факторов, в том числе от растворимости, формы химического соединения и характера почвы. Важную роль в повышении доступности тяжелых металлов для растений играет корневая микрофлора, которая способствует превращению нерастворимых солей металлов в растворимые формы. Например, нахождение редуктазы в мембранах корневых клеток способствует значительному повышению способности растений восстанавливать ионы меди и железа.

Кадмий относится к антропогенным элементам и является лидером среди тяжелых металлов по фитотоксичности и способности

накапливаться в растениях:  $Cd > Cu > Zn > Pb$  [4]. Установлено, что в *T. angustifolia*, собранном на мелководьях вблизи с. Генеральское, среднее содержание  $Cd^{2+}$  составляло  $0,58 \pm 0,09$  мг/кг. Наибольшая концентрация элемента отмечена для корневища рогоза и составляла  $0,80 \pm 0,16$  мг/кг. Распределение  $Cd^{2+}$  в растительных органах исследуемого растения носило классический характер: корневище > стебель > листья > соцветия. Концентрация  $Cd^{2+}$  в донных отложениях, отобранных на мелководьях ус. Генеральского, была в 1,6 раза больше по сравнению с таковой для всего растения.

Рогоз узколистный, собранный у п. Квасниковка, аккумулировал  $Cd^{2+}$  практически на том же уровне, максимальные концентрации металла отмечены в донных отложениях, что, возможно, связано с природой кадмия. Известно, что свободный ион кадмия в нейтральных водных средах преимущественно сорбируется частицами донных отложений.

Кобальт является биогенным элементом и чрезвычайно важен для живых организмов. Однако некоторые соединения кобальта в повышенных концентрациях обладают высокой токсичностью. Установлено, что наибольшей аккумулирующей способностью обладало корневище рогоза узколистного: содержание  $Co^{2+}$  в нем было в 0,3-2 раза больше, чем в

остальных растительных органах. Распределение элемента  $Co^{2+}$  по органам растения имело классический характер. Содержание металла в донных отложениях у с. Генеральское было незначительно больше по сравнению с таковым для растения. А в донных отложениях, собранных у п. Квасниковка концентрация  $Co^{2+}$  была в 2 раза выше по сравнению с произрастающим там рогозом.

Таким образом, проведенное исследование выявило, что рогоз узколистный не относится к накопителям и гипераккумуляторам исследованных тяжелых металлов. Однако, полученные данные свидетельствуют о способности его корневища концентрировать такие тяжелые металлы как  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и  $Co^{2+}$ , что, возможно, связано с тем, что *T. angustifolia* - многолетнее ВВР и его корневище является не отмирающей частью. В связи с этим можно рекомендовать использовать рогоз узколистный в сооружениях для очистки и доочистки водоемов от загрязнения. Кроме того, существует практика выкорчевывания рогоза, его сжигания и использование полученной золы в качестве минерального удобрения. Таким способом решаются две экологические проблемы: очистки водоемов от определенных загрязнителей и повышения плодородия почв путем внесения минеральных элементов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кочеткова А.И. О некоторых закономерностях накопления тяжелых металлов высшей водной растительностью на Волгоградском водохранилище // Вестник Волгогр. гос. Ун-та. Сер. 3, Экон. Экол. 2012. № 1(20). С. 305-309.
2. Шашуловская Е.А. Роль мелководий в самоочищении равнинных водохранилищ (на примере Волгоградского водохранилища): Дис. докт. биол. наук. Н. Новгород, 2010. С. 20-22.
3. Матвеев В.И., Соловьева В.В., Саксонов С.В. Экология водных растений. Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2005. 282 с.
4. Дикиева Д.М., Петрова И.А. Химический состав макрофитов и факторы, определяющие

## REFERENCES

1. Kochetkova A.I. Some regularities of accumulation of heavy metals in higher aquatic vegetation at the Volgograd Reservoir // Science Journal of VolSU. Global Economic System. Ecology. 2012. № 1(20). P. 305-309.
2. Shashulovskaya E.A. The role of shallow waters in the processes of self-purification of the Reservoir (Volgograd Reservoir as an example). - N. Novgorod, 2010. P. 20-22.
3. Matveev V.I., Solov'eva V.V., Saksonov S.V. Ecology of aquatic plants. Samara: Samara science center, 2005. 282 p.
4. Dikieva D.M., Petrova I.A. Chemical composition of macrophytes and factors determining their concentration in minerals // Hydrobiological processes in reservoirs. L.: Science, 1983. P. 107-113.

---

в них концентрацию минеральных веществ // Гидробиол. процессы в водоемах. Л.: Наука, 1983. С. 107-113.

5. Крот Ю.Г. Использование высших водных растений в биотехнологиях очистки поверхностных и сточных вод // Гидробиологический журнал. 2006. Т.42, №1. С. 76-91.

6. Практикум по агрохимии: учеб. пособие / Под ред. академика РАСХН В. Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.

7. Розенцвет О. А. Изучение особенностей аккумуляции ионов тяжелых металлов водными растениями и роли липидов в адаптации к тяжелым металлам // Изв. Самар. НЦ РАН. 2006. Т.8. № 3. 24 с.

8. Шашуловская Е. А., Мухаметжанова М. Л., Гречушников Д. В. и др. Тяжелые металлы и нефтепродукты в экосистеме Волгоградского водохранилища // Сб. научн. трудов ФГНУ ГосНИОРХ.. С-Петербург. 2007. Вып. 336. С. 334-350.

5. Krot Yu.G. Use of higher aquatic plants in biotechnology for purification of surface and waste waters // Journal of Hydrobiology. 2006. Vol.42. №1. P. 76-91.

6. Workshop on Agricultural Chemistry / V.G. Mineev. - M.:MSU, 2001. 689 p.

7. Rozentsvet O.A. Study of the accumulation of heavy metals by higher aquatic plants and the role of lipids in the adaptation to heavy metals // Science Journal of Samara science center. 2006. T.8. № 3. 24 p.

8. Shashulovskaya E. A., Mukhametzhanova M.L., Grechushnikova D.V. and others. Heavy metals and petroleum products in the ecosystem of the Volgograd Reservoir // Digest of scientific works of NIORH. S-Petersburg. 2007. 336. P. 334-350.

---

Фомина Алла Анатольевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Fomina Alla A.** – Associate Professor of Ecology Department of Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 22.12.13, принята к опубликованию 25. 01. 14

**ДЛЯ АВТОРОВ**

Журнал посвящен вопросам развития инновационной деятельности, внедрения научных и технических достижений в хозяйственную практику, особенностям развития научно-технической деятельности в новых условиях, развитию процессов передачи технологий.

Приглашаем к сотрудничеству ученых, экономистов, преподавателей, научные коллективы кафедр и лабораторий вузов, научно-исследовательских институтов, аспирантов, руководителей промышленных предприятий, разработчиков новой продукции, инвесторов, представителей органов власти и организаторов инновационной деятельности, зарубежных партнеров.

Приглашаем также предприятия к сотрудничеству в качестве спонсоров журнала.

По вопросам опубликования статей обращаться по телефону: (845-2) 998532, 89603400227 Горячева Татьяна Владимировна, 89675003590 Славнецкова Людмила Владимировна. Публикации просьба направлять по адресу: Россия, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, кафедра прикладной экономики и управления инновациями, корпус № 5, ауд. 5/311, либо по E-mail: tvgsgru@rambler.ru

**Требования к оформлению публикаций**

Печатный вариант публикации представляется объемом от 4 до 10 стр. формата А4 с полями по 20 мм, через одинарный интервал. Текст публикации представляется также на диске с применением редактора Word – 97, 2000, шрифт Times New Roman Cyr 14, абзацный отступ 1,0 см. К статье должна быть также приложена аннотация – 3-4 предложения.

Название прописными буквами, через 1 строку, строчными буквами – фамилии, имена, отчества авторов полностью, с указанием ученой степени, звания, занимаемой должности и места работы, в круглых скобках курсивом – сокращенное название организации, города, страны (через запятую). Название статьи, фамилия и инициалы, аннотацию список литературы должны быть переведены также на английский язык.

Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи. Рукопись статьи рецензируется ведущим ученым в данной области, как правило, доктором наук.

Аспиранты публикуются бесплатно.

**Инновационная деятельность.**

2014. № 1 (28). Том 2.

**Учредитель и издатель:** Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

**Главный редактор:** Борщов Александр Сергеевич

**Адрес редакции и издателя:** 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77.

Телефон: (845-2) 99-85-32

E-mail: [innovation@sstu.ru](mailto:innovation@sstu.ru)

**Редактор:** Скворцова Л.А.

*Компьютерная верстка* Балабановой Т.А.

*Перевод на английский язык* Шеляхиной Н.В.

*Формат* 60x84 1/8. Усл. печ. л. 8,0. Уч.-изд. л. 6,2

*Тираж* 500 экз. Заказ 93. ISSN 2071-5226

*Подписано в печать* 15.03.14. Цена договорная.

Отпечатано в Издательстве СГТУ: 410054, г. Саратов, Политехническая ул., 77.

**Свидетельство о регистрации** средства массовой информации ПИ №ФС77-37236 от 18 августа 2009 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

*Подписной индекс 65037 (каталог «Газеты, Журналы» на 1-е полугодие 2014 г.)*

**Innovation Activity**

2014. № 1 (28).

**The founder and publisher:** Saratov State Technical University name after Gagarin Yu. A.

**Editor-in-chief:** Borshchov Aleksandr Sergeevich

**Editorial and publisher office:**

410054, Saratov, Politechnicheskaya Street, 77.

Telephone: (845-2) 99-85-32 Fax: (845-2) 50-67-40

E-mail: [innovation@sstu.ru](mailto:innovation@sstu.ru)

**Editor:** Skvortsova L.A.

*Computer-based page-proof:* Balabanova T.A.

*Rendering:* Shelyahina N. V.

*Format* 60x84 1/8. Apr. tp.l 8,0. Acc.-pbl. 6,2

*Edition* 500 psc. Order 93. ISSN 2071-5226

*Sighned for publishing* 15.03.14. Contract price.

Printed in Publishing house of SSTU: 77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054, Russia

**The certificate of registration** of mass media ПИ №ФС77 - 37236 of 18th of August, 2009 given out by the Management of Federal Service on Supervision of Legislation Observance in the Sphere of Communication, Information Technologies, of Mass Communications.

*Subscription index 65037 (the Catalogue «Newspapers, Magazines» for the 1-st half year 2014)*