

ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ ПОЧВ КИРГИЗИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ТРИАД

Терехова В.А.¹, Белик А.А.², Узбеков Б.А.³, Прохоренко В.А.⁴, Худайбергенова Б.М.⁵, Кыдралиева К.А.⁶, Жоробекова Ш.Ж.⁷

Контактные адреса электронной почты: vterekhova@gmail.com,

¹ – д.б.н., Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова

² – студент, факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова

³ – аспирант, Международный университет Кыргызстана

⁴ – к.х.н., Институт химии и химической технологии НАН Кыргызстана

⁵ – д.б.н., Институт биотехнологии НАН Кыргызстана

⁶ – д.х.н., Институт химии и химической технологии НАН Кыргызстана

⁴ – д.х.н., Институт химии и химической технологии НАН Кыргызстана

В характеристике экологического состояния урбанизированных экосистем города Бишкека (Кыргызская республика) впервые реализован комплексный подход, основанный на учете данных биотестирования, биоиндикации и химического анализа почвенных образцов. Продемонстрирована возможность соотнесения данных элементного анализа и биодиагностики почв со шкалой оценки потери качества природной среды. Отмечается, что метод Триад позволяет получить более полную характеристику экологического состояния почв по сравнению с анализом откликов представителей биоты или химических показателей.

ВВЕДЕНИЕ

Состояние почв в районах проживания – одна из наиболее острых проблем экологии современных городов. Прогрессирующее ухудшение условий жизни обусловлено выбросами большого количества загрязняющих веществ, разными видами физических воздействий, нарушением целостности почвенного покрова, что влияет на способность почв выполнять экологические функции (Добровольский, Никитин, 1986; «Экологические функции городских почв», 2004 и др.). К источникам экологических проблем в городах относятся

многообразные виды хозяйственной деятельности, среди которых важное место занимают энергетические предприятия и транспортные сети.

Кыргызстан – горная страна, особо уязвимая к природным и антропогенным воздействиям. По данным экологического обзора Кыргызской республики наиболее загрязнен воздух в городе Бишкек. Физико-географические и климатические условия города Бишкек, относительная замкнутость Чуйской долины способствуют возникновению интенсивных приземных и приподнятых инверсий, что в совокупности с выбросами источников загрязнения ведет к формированию высокого потенциала загрязнения атмосферы (Экологический обзор..., 2009).

На предприятиях угольной промышленности накоплено огромное количество отвалов, в разной степени подверженных перемещению ветром и водой. Негативное воздействие на окружающую среду и здоровье оказывают котельные, работающие на угле и выбрасывающие такие загрязняющие вещества как зола, обогащенная радиоактивными веществами и тяжелыми металлами и прочие продукты сгорания (Экологический обзор..., 2009).

Основным потребителем угля в Кыргызстане является ТЭЦ г. Бишкек. Тенденция ухудшение качества топлива, высокая степень изношенности основных производственных мощностей приводит к осложнению экологических проблем станции (Джундубаев, 2004). Это приводит в конечном итоге к загрязнению и деградации городских почв. Кроме того в городские экосистемы испытывают стресс от эксплуатации автомобильных и железнодорожных магистралей. В непосредственной близости к ТЭЦ расположены частные огородные хозяйства, владельцы которых обеспокоены состоянием окружающей среды, включая экологическое качество почв.

Для предотвращения и ликвидации отрицательного антропогенного воздействия на окружающую природную среду, создания нормальной среды обитания человека необходима в первую очередь достоверная, объективная и своевременная оценка экологического состояния. Только в этом случае

возможно обоснованное принятие решений по регулированию качества природной среды.

Подходы к оценке качества почв основаны большей частью базируются на результатах аналитического контроля химических веществ, что недостаточно для объективной оценки состояния почв.

В мировой литературе как надежный прием характеристики экологического риска при загрязнении природных сред отмечается триадный подход, основанный на методологии междисциплинарного уровня и учитывающий данные химических, биоиндикационных и токсикологических исследований (Chapman et al., 2002; Dagnino et al., 2008). Парадигма Триад позволяет провести оценку потенциально вредного воздействия на экосистемы, одновременно учитывая концентрации загрязняющих веществ, биодоступность поллютантов, а также их экотоксикологические свойства. На данный момент опыта применения триадного подхода для оценки техногенных воздействий на почвы недостаточно.

Цель данной работы заключалась в характеристике экологического состояния почв в густонаселенном районе города Бишкека на основе интегрального подхода к анализу данных биодиагностики и химических анализов образцов урбаноземов.

РАЙОН, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Почвенные образцы. Исследование проводили в индустриальном районе города Бишкек на почвенных образцах, отобранных в мае 2013 года с двух глубин (0-5 см, 20-25 см). Пробные площадки располагались на территории прилегающей к Бишкекской ТЭЦ (рис. 1) на расстоянии 10, 50, 150, 500 м от ограждения промышленной зоны предприятия. Трансекта отбора проб пересекалась железнодорожной линией со станцией Аламедин на расстоянии 150 м от ТЭЦ. Исследуемые почвы можно отнести к антропогенно преобразованным сероземам.



Рис. 1 Карта-схема отбора почвенных образцов. Указана удаленность пробных площадок от ТЭЦ, м.

Почву в воздушно-сухом состоянии растирали в ступке, предварительно удалив крупные корешки, и просеивали через сито с диаметром отверстий 2 мм для удаления литоморфных и антропоморфных включений.

Оценку экологического состояния почв на исследуемом участке города проводили на основе данных химического анализа, биоиндикации и биотестирования.

Химические исследования включали определение рН водной вытяжки из почвенных образцов потенциометрическим методом (рН-метр HANNA instrument – рН 211).

Содержание тяжелых металлов (ТМ) Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , As^{5+} , Cd^{2+} , Hg^{+} , Pb^{2+} методом атомно-абсорбционной спектроскопии согласно стандартной методике (ПНД Ф 16.1:2:2.2.63-09). Загрязнение почвы оценивалось по суммарному показателю Z_c , рассчитываемому по формуле:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c^{-(n-1)},$$

где n – число определяемых ингредиентов; K_c – коэффициент концентрации элемента, определяемый отношением его содержания в загрязненной почве к фоновому образцу.

Токсикологические исследования проводили с применением трех биотест-систем по реакциям организмов разной таксономической и трофической принадлежности.

Для биотестирования на ракообразных *Ceriodaphnia affinis* и бактериях с помощью генномодифицированного штамма *Escherichia coli* (в составе препарата “Эколюм”) использовали водные экстракты почв. Приготовление экстрактов и постановку биотестов проводили согласно процедурам, описанным в стандартизованных методиках ФР.1.39.2007.0321 (аналогично ISO 7346-1) и ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04 (аналогично ISO-11348-2).

Для фитотестирования на высших растениях использовали семена горчицы белой *Sinapis alba* и овса *Avena* sp., которые раскладывали в пластиковые планшеты с фильтровальной бумагой, увлажненной испытуемыми экстрактами. В качестве тест-функций рассматривали изменение прироста корней и ростков проростков в исследуемых образцах относительно контрольных (незагрязненных тяжелыми металлами). Анализ проводили в соответствии с методикой Фитоскан - ФР.1.31.2012.11560 (Терехова и др., 2012). Закрытые планшеты инкубировались в термостате при температуре 24 °С в темноте. Срок экспозиции семян горчицы - 3 сут., семян овса - 5 сут. По истечении срока экспозиции измеряли длину корней и побегов проростков. Объектом измерения у каждого проростка овса был корень максимальной длины (согласно методике ФР.1.39.2006.02264). Опыт проводился в двукратной повторности.

Биоиндикационные исследования включали определение *интенсивности почвенного дыхания* по величине субстрат индуцированного дыхания обогащенной глюкозой почв (СИД) и интенсивности базального микробного дыхания (БД) без добавления глюкозы.

При определении интенсивности дыхания микробного сообщества 2 г почвы помещали в пенициллиновый флакон и увлажняли 0,5 мл дистиллированной воды (для измерения базального дыхания - БД) или 0,5 мл раствора глюкозы в качестве дополнительного источника углерода и энергии (для измерения субстрат индуцированного дыхания - СИД). Рабочая концентрация глюкозы - 10 мг/г почвы. Жидкость в образцы приливали до достижения 50-60% от полной влагоемкости. Флаконы герметично закрывали и инкубировали при температуре 24 °С в течении 117 часов для определения БД и 24 часов для определения СИД. В конце инкубации отбирали пробы воздуха объемом 0,5 см³ с помощью шприца и определяли в них концентрацию СО₂ на газовом хроматографе (М 3700-4).

По площади пика СО₂ рассчитывали интенсивность дыхания по формуле:

$$v = (S * 0.002124) * 2 * V * M_r / (m * t), \text{ где:}$$

v – интенсивность дыхания почвы (мкмоль СО₂-С/ч/г почвы); S – площадь пика (при умножении на коэффициент 0,002124 и M_r показывает концентрацию СО₂-С в мкмольях); M_r – молярная масса углекислого газа (г/моль); V – объем воздушной фазы флакона (см³); m – масса почвы (г); t – время инкубации (ч).

Интеграция данных анализов почвенных образцов на основе метода Триада. Для количественной оценки состояния почв воспользовались методом Триада.

Сущность триадного подхода заключается в оценке качества почв по нескольким группам показателей:

- химические показатели (содержание загрязняющих веществ);
- токсикологические показатели (биотестирование);
- экологические показатели (биоиндикация).

Интегральный индекс состояния почв (ИС) определяется на интервале от нуля до единицы, причем единице придано значение максимальной степени

напряженности экологического состояния, а нулю – минимальной, соответствующей, например, фоновому состоянию.

В схеме расчетов индексов состояния (ИС_х, ИС_т и ИС_б) выделяют три этапа: сравнение полученных значений с данными для фоновых проб по каждому показателю; выбор функции перевода в зависимости от степени отклонения от фоновых величин для каждого показателя; нахождение суммарных показателей ИС_х, ИС_т и ИС_б (Dagnino et al., 2008).

В данной работе расчет интегрального индекса состояния почв проводили аналогично методике, изложенной в статье Тереховой и соавторов (Терехова и др., 2014).

Расчет индекса состояния почв по химическим показателям. Результаты, полученные для испытуемых образцов, сравнивали с фоновыми значениями. Для перехода к шкале, нормированной от 0 до 1, были применены функции вида:

$$ИС_{x_i} = \begin{cases} \frac{C_i}{C_{фон_i}} \cdot 0.50, & \text{если } C_i \leq C_{фон_i} \\ 0.50 + \left(\frac{C_i - C_{фон_i}}{10 C_{фон_i} - C_{фон_i}} \right) \cdot 0.50, & \text{если } C_{фон_i} < C_i \leq 10 C_{фон_i} \\ 1, & \text{если } 10 C_{фон_i} < C_i \end{cases} \quad (1)$$

где ИС_{х_i} - преобразованное значение, индекс состояния почв по концентрации *i*-го химического показателя, *C_i* - концентрация *i*-го химического показателя в пробе; *C_{фон_i}* - концентрация *i*-го химического показателя в фоне.

Полученные данные по всем исследованным компонентам проб обобщали как среднее арифметическое ИС_{х_i}:

$$ИС_{x} = \frac{\sum_{i=1}^n ИС_{x_i}}{n}, \quad (2)$$

где ИСх – индекс состояния почв по химическим данным; n – количество исследованных показателей.

Расчет индекса состояния почв по токсикологическим показателям. Значения тест-функций i -й тест-системы (биотеста) сравнивали со значениями, полученными для фонового образца по формуле 3:

$$П_i = \frac{|T_i - T_{\text{фон}_i}|}{T_{\text{фон}_i}}, \quad (3)$$

где $П_i$ – степень отклонения значения тест-функции i -го биотеста в пробе от фона; T_i – значение тест-функции i -го биотеста в пробе, $T_{\text{фон}_i}$ – значение тест-функции в фоновом образце.

Для перехода к шкале, которая нормирована от 0 до 1 были применены функции вида (4):

$$\text{ИСт}_i = \begin{cases} 0, & \text{если } П_i \leq 0.20 \\ \frac{П_i - 0,20}{0,80 - 0,20}, & \text{если } 0.20 < П_i \leq 0.80 \\ 1, & \text{если } П_i > 0.80 \end{cases}. \quad (4)$$

Подобным образом с использованием формулы (3) и функций (4) проводили оценку биоиндикационных показателей. Индекс состояния по токсикологическим и биоиндикационным параметрам (ИСт и ИСб) рассчитывали путем нахождения среднего арифметического из ИСт_i и ИСб_i соответственно (аналогично формуле 2).

При расчете интегрального индекса состояния по триаде показателей - химическим, токсикологическим и биоиндикационным (ИСх, ИСт и ИСб, соответственно) воспользовались “весовыми коэффициентами”, равными 1,5 и 2,0:

$$ИС = \frac{ИСх + 1.5 \times ИСт + 2.0 \times ИСб}{1.0 + 1.5 + 2.0} \quad (5)$$

Весовые коэффициенты отражают важность рассматриваемых показателей в экосистемном нормировании и оценке экологического состояния сред. Предложение Дагнино и соавторов (Dagnino et al., 2008) о присвоении “весовых коэффициентов” в данном случае оправдано, поскольку именно биотические (токсикологические и биоиндикационные) показатели являются наиболее информативными с точки зрения поддержания устойчивого состояния экосистем и выполнения почвами экологических функций, в частности, такой как среда обитания для живых организмов (Terekhova, 2011).

Таким образом, интегральный индекс состояния почв, рассчитанный по методу Триад, отражает изменение содержания загрязняющих веществ, интегральной токсичности и биоиндикационных параметров почв. Меньшее значение ИС свидетельствует о лучшем экологическом состоянии почв, большее – об ухудшении качества почв. При этом наиболее благоприятным для функционирования биоты будет значение, близкое к 0 (фоновое состояние почвы).

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программ MS Excel 2003 и Statistica 6.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка экологического состояния почв по химическим показателям.

Характеристика рН водной вытяжки исследуемых образцов почв.

Все исследованные в работе образцы характеризовались слабощелочной реакцией (рН водной вытяжки из почв варьирует от 7,4 до 8,1). Водородный показатель возрастал по мере удаления от ТЭЦ. Интересно, что в почвах, отобранных на расстоянии 50 и 150 м от ТЭЦ, различия в значениях рН в поверхностном и подповерхностном горизонтах были заметно более выражены, чем в почвах с площадок на удалении 10 и 500 м (рис.2).

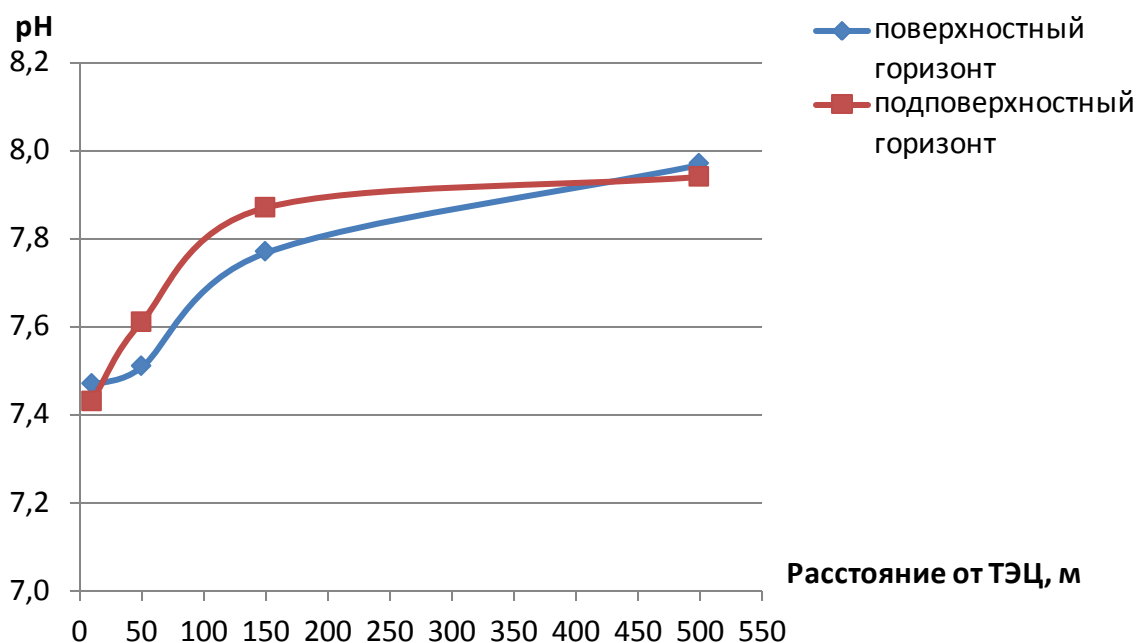


Рис. 2 Значения $pH_{\text{водн.}}$ в образцах из двух горизонтов почв с пробных площадок, расположенных на разном удалении от Бишкекской ТЭЦ

Важным фактором, влияющим на экологическое состояние городских почв, является загрязнение тяжелыми металлами.

Анализ показал, что в большинстве случаев содержание ТМ в почвах не превышает нормы – ОДК (ГН 2.1.7.2511-09 "Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве") (табл. 1). Исключение составляет содержание мышьяка (на всех участках его концентрация в 1,4 -1,9 раз превышает ОДК). Кроме того на расстоянии 150 м от ТЭЦ происходит значительное накопление цинка. Его концентрация в обоих горизонтах превышает ОДК (220 мг/кг), что, вероятно, связано с близким расположением точки отбора к железной дороге.

Анализ показал, что в большинстве случаев содержание ТМ в почвах не превышает значений ОДК для сероземов. Исключение составляет содержание мышьяка. На всех участках исследования концентрация мышьяка повышена и в 1,4 -1,9 раз превышает ОДК.

Кроме того на расстоянии 150 м от ТЭЦ происходит значительное

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в образцах деградированных сероземов г.Бишкек, мг/кг

Расстояние от ТЭЦ, м	Содержание ТМ, мг/кг						
	Ni	Cu	Zn	As / 75	Cd	Hg	Pb
Поверхностный горизонт (5-7 см)							
10	19,61	19,11	54,91	18,85	0,12	<0,010	19,48
50	17,97	22,05	55,80	19,35	0,24	<0,010	22,37
150	68,18	29,72	282,16	17,60	0,34	<0,010	44,41
500	21,21	18,16	76,18	19,11	0,14	<0,010	21,90
Подповерхностный горизонт (20-25 см)							
50	17,44	17,71	44,71	14,09	0,11	0,01	19,23
100	22,85	19,07	71,59	16,70	0,14	0,01	19,60
150	46,69	25,56	231,48	16,78	0,19	0,01	28,44
500	20,92	20,49	149,18	19,06	0,16	0,01	30,33
ОДК для сероземов	80	132	220	10	2		130

накопление цинка. Его концентрация в обоих горизонтах превышает ОДК (220 мг/кг) (ГН 2.1.7.2511-09 "Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве"), что, вероятно, связано с близким расположением точки отбора к железной дороге.

Для оценки сопоставили уровни интегрального химического загрязнения почв на разных пробных площадках. Данные расчетов степени загрязнения ТМ по Саету, Z_c (отношение валового содержания в пробе к значению в условном фоне) приведены на рис.3.

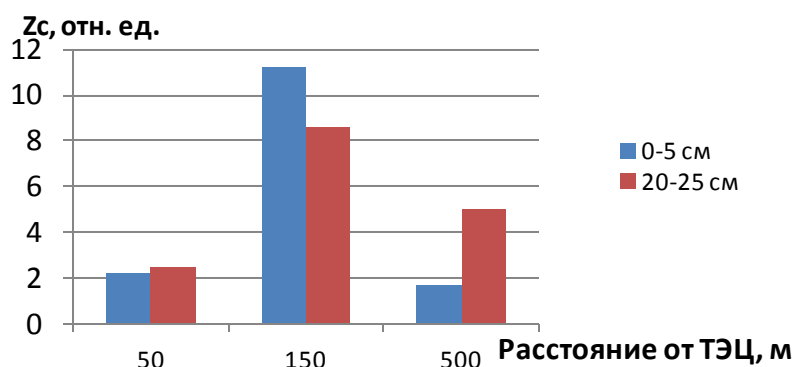


Рис. 3 Сравнение суммарного показателя загрязнения почв ТМ по Саету, Z_c в образцах почв из двух горизонтов по градиенту удаленности от ТЭЦ.

Как показали расчеты интегрального коэффициента Z_c , все образцы характеризуются допустимой степенью загрязнения ($Z_c < 16$). При этом выделяется образец с площадки, расположенной наиболее близко к железной дороге (150 м от ТЭЦ). Он обладает самым высоким коэффициентом загрязнения, однако не превышает критического уровня - 16 единиц.

Таким образом, сравнение полученных данных с существующими нормативами ОДК показало, что исследуемые образцы в целом не относятся к разряду почв, представляющих опасность от загрязнения тяжелыми металлами. Вместе с тем, выявлена явная гетерогенность почв и вариабельность содержания ТМ в пробах. Предпринята попытка сопоставить уровни загрязненности почв на исследуемых участках городской территории.

Наиболее разработанной и действующей на территории России является система санитарно-гигиенического нормирования техногенного воздействия и контроля качества природной среды, основанная на исследовании концентраций загрязняющих веществ.

Как известно, по степени опасности в санитарно-защитном отношении почвы подразделяются на следующие категории по уровню загрязнения: чистая, допустимая, умеренно-опасная, опасная, чрезвычайно опасная (табл. 2).

Таблица 2. Оценка степени химического загрязнения почвы (СанПиН 2.1.7.1287-03)

Категории загрязнения	Z_c	Содержание в почве (мг/кг)			
		I класс опасности		II класс опасности	
		Орг. соединения	Неорг. соединения	Орг. соединения	Неорг. соединения
Чистая	–	от фона до ПДК	от фона до ПДК	от фона до ПДК	от фона до ПДК
Допустимая	< 16	от 1 до 2 ПДК	от 2 фоновых значений до ПДК	от 1 до 2 ПДК	от 2 фоновых значений до ПДК
Умеренно опасная	16 - 32				
Опасная	32 - 128	от 2 до 5 ПДК	от ПДК до K_{max}	от 2 до 5 ПДК	от ПДК до K_{max}
Чрезвычайно опасная	> 128	> 5 ПДК	> K_{max}	> 5 ПДК	> K_{max}

K_{max} - максимальное значение допустимого уровня содержания элемента по одному из четырех показателей вредности.

Использование суммарного показателя загрязнения по Саету - наиболее простой и четкий способ градации качества почв. Однако индекс Саета в большой степени зависит от количества включенных в него отдельных характеристик (Смагин, 2007). В этой связи большое значение для экологической оценки природных сред приобретают данные биологических анализов, отражающие интегральный отклик на совокупность неблагоприятных воздействий.

Предполагалось, что почвы на удалении 500 м от ТЭЦ будут наименее загрязненными, однако экспериментальная проверка показала, что наименьшим содержанием тяжелых металлов характеризуется площадка отбора проб на расстоянии 10 м от ТЭЦ. Для последующих сравнительных расчетов образцы с этой площадки были условно приняты за «фон».

Оценка экологического состояния почв по биоиндикационным показателям.

Выделение углекислого газа из почвы отражает интенсивность жизнедеятельности почвенной биоты. Результаты расчетов интенсивности базального и субстрат-индуцированного дыхания приведены на рис. 4 и 5.

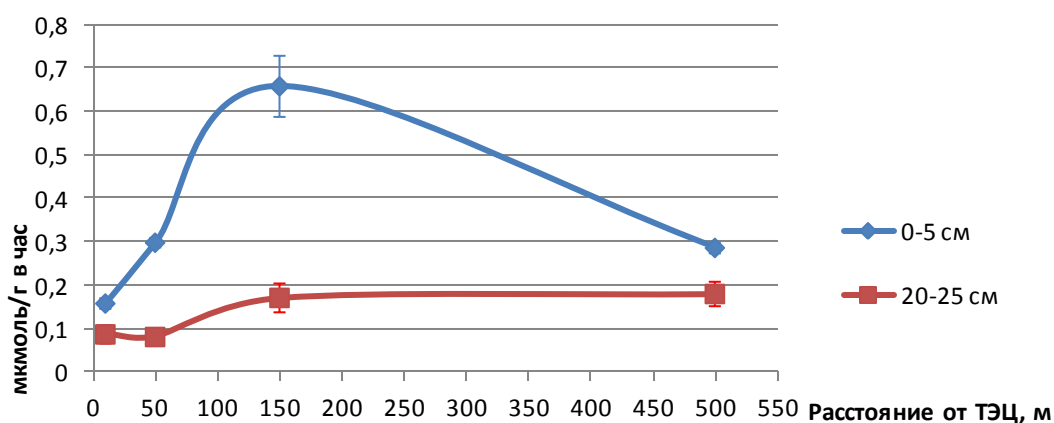


Рис. 4. Изменение интенсивности субстрат-индуцированного дыхания почв в зависимости от расстояния от ТЭЦ

Установлено, что интенсивность дыхания в поверхностных горизонтах выше, чем в горизонтах вниз по профилю, что обусловлено, вероятно, более

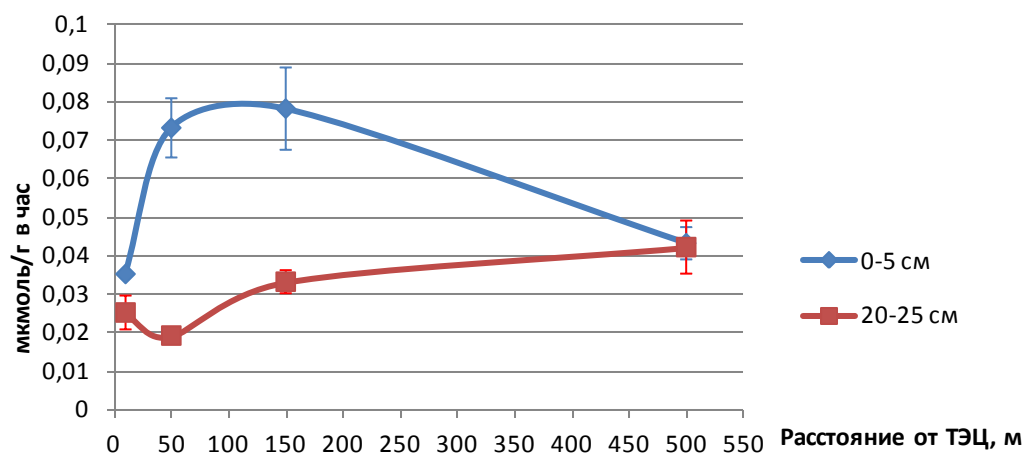


Рис. 5. Изменение интенсивности базального дыхания почв в зависимости от расстояния от ТЭЦ.

плотным заселением почвенными микроорганизмами верхнего горизонта, как более богатого питательными веществами. Интенсивность как базального, так и субстрат-индуцированного дыхания, была наибольшей в почвах, удаленных на 150 м от ТЭЦ (0,08 и 184,40 мкмоль/г в ч для поверхностного и подповерхностного горизонтов, соответственно). Это скорее всего объясняется стрессовой ситуацией для комплекса микроорганизмов, которое оказывает превышение уровня нагрузки ТМ по сравнению с другими площадками отбора.

Оценка экологического состояния почв по токсикологическим показателям.

Исследование изменения интенсивности бактериальной биолюминесценции показало, что в соответствии с критериями, установленными стандартной методикой определения индекса бактериальной токсичности, все образцы обладают допустимой степенью токсичности, поскольку отклонения от контрольной пробы не превышали 20% (рис. 7).

Далее при сравнении образцов, приняв за условный фон (контроль) наиболее чистую пробную площадку, которая удалена на 10 м от границы территории ТЭЦ, мы обнаружили максимальную токсичность в образцах, отобранных на расстоянии 150 м от ТЭЦ (рис. 6).

В наших экспериментах в качестве фитотест-культур использовали

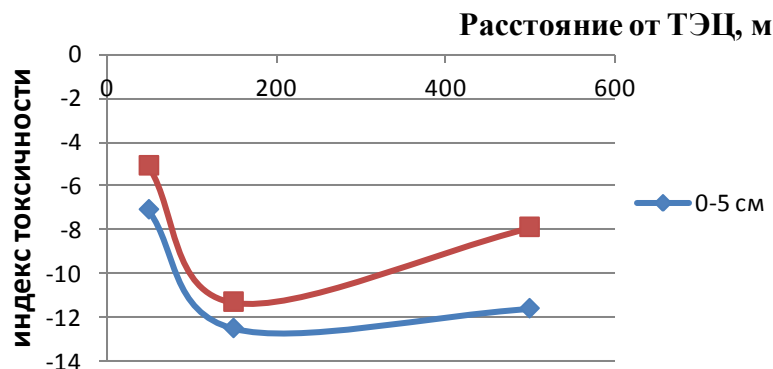


Рис. 6. Значения индекса бактериальной токсичности (биотест-системе «Эколюм»), рассчитанные относительно условной чистой площадки (10 м).

семена горчицы белой *Sinapis alba* и овса *Avena* sp. Фитотесты не показали однозначной зависимости от степени загрязнения почв. Тем не менее, несмотря на большие значения стандартных отклонений, по длине корней и ростков можно выделить достоверные различия между некоторыми почвенными образцами (рис.7).

Проростки семян горчицы белой *Sinapis alba*. Средняя длина корней проростков *Sinapis alba* при воздействии образцов почв с глубины 20-25 см, отобранных на расстоянии 10 м и 150 м от ТЭЦ, значимо больше, чем на расстоянии 500 м. При этом значимо большей оказалась средняя длина побегов проростков *Sinapis alba* при действии образца, отобранном с глубины 20-25 см на расстоянии 10 м, по сравнению с образцами, удаленными на 500 м. Поверхностные образцы (0-5 см) с площадок 10 м и 50 м заметно угнетают рост побегов горчицы белой.

Проростки семян овса *Avena* sp. Здесь достоверные различия отмечены лишь между длиной ростков. При фитотестировании образцов с глубины 0-5 см (10 м) ростки существенно короче. При фитотестировании образцов с глубины 20-25 см (50 м) выявлено их заметное угнетающее действие по сравнению с образцами 150 м и 500 м.

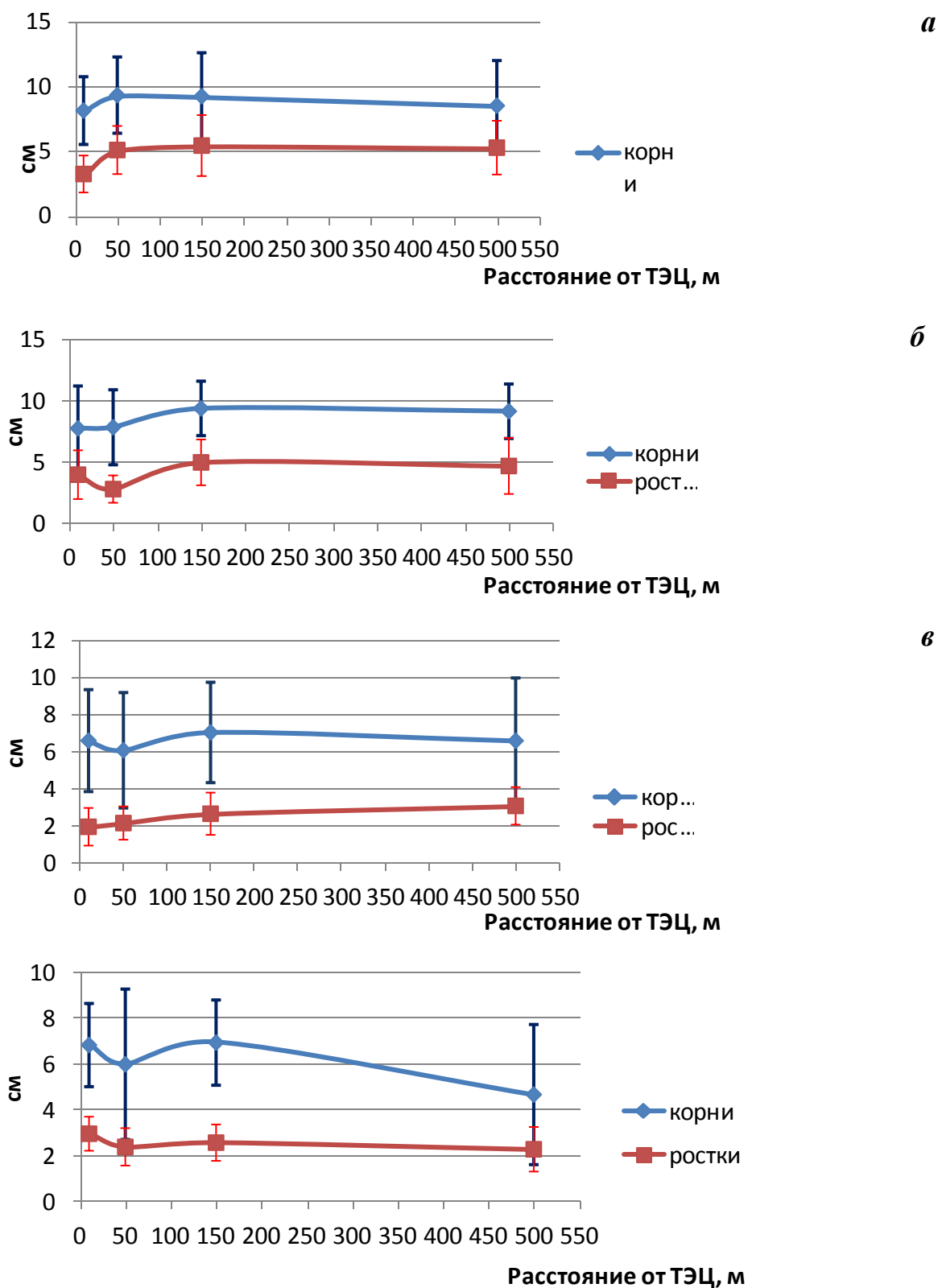


Рис. 7. Длина (см) корней и ростков у проростков семян высших растений при фитотестировании почвенной вытяжки из образцов урбаноземов: *а* - *Sinapis alba*, поверхностные образцы; *б* - *Sinapis alba*, подповерхностные образцы; *в* - *Avena sp.*, поверхностные образцы; *г* - *Avena sp.*, подповерхностные образцы.

Комплексная экологическая оценка состояния почв с использованием «Триадного» подхода.

В последние десятилетия уделяется большое внимание разработке подходов к оценке экологического состояния почв, основанной на диагностике изменений биогенных и абиогенных компонентов почв (Виноградов и др., 1993; Опекунов, 2006; Терехова, 2010; Левич, 2013). Одной из проблем на этом пути остается поиск наилучших способов интегрирования данных экологического мониторинга (Воробейчик и др., 1994; Булгаков и др., 2002 Linkov et al., 2006 и др.). Предлагаются различные варианты расчета индексов состояния почв, значения которых сопоставляются затем с уровнями техногенной нагрузки и/или категориями качества окружающей природной среды (Саев и др., 1990; Казеев и др., 2003; Яковлев, Макаров, 2006; Попутникова, Терехова, 2010 и др.). Как упоминалось ранее, в мировой литературе как надежный прием характеристики экологического риска при загрязнении природных сред отмечается «Триадный» подход (TRIAD approach), основанный на методологии междисциплинарного уровня и учитывающий данные химических, биоиндикационных и токсикологических исследований (Chapman et al., 2002; Rutgers et al., 2005; Dagnino et al., 2008; Semenzin et al., 2008; Ribé et al., 2012).

В целях обобщения полученных в данной работе данных воспользовались методом Триад.

Рассчитанные значения индексы состояния и интегральный индекс для каждой из исследованных пробных площадок приведены в табл. 3.

Таблица 3. Индексы состояния почвенных образцов исследованных пробных площадок г.Бишкек

Расстояние, м	ИС _{зв}	ИС _т	ИС _б	ИС
Поверхностный горизонт (5-7 см)				
50	0,51	0,12	1	0,60
150	0,59	0,21	1	0,65
500	0,50	0,27	1	0,65
Подповерхностный горизонт (20-25 см)				
50	0,51	0,03	0	0,12
150	0,57	0,02	1	0,58
500	0,54	0,04	1	0,58

Графическое изображение результатов исследования почвенных образцов с пробных площадок г. Бишкек на основе триадного подхода представлено на рис. 8.

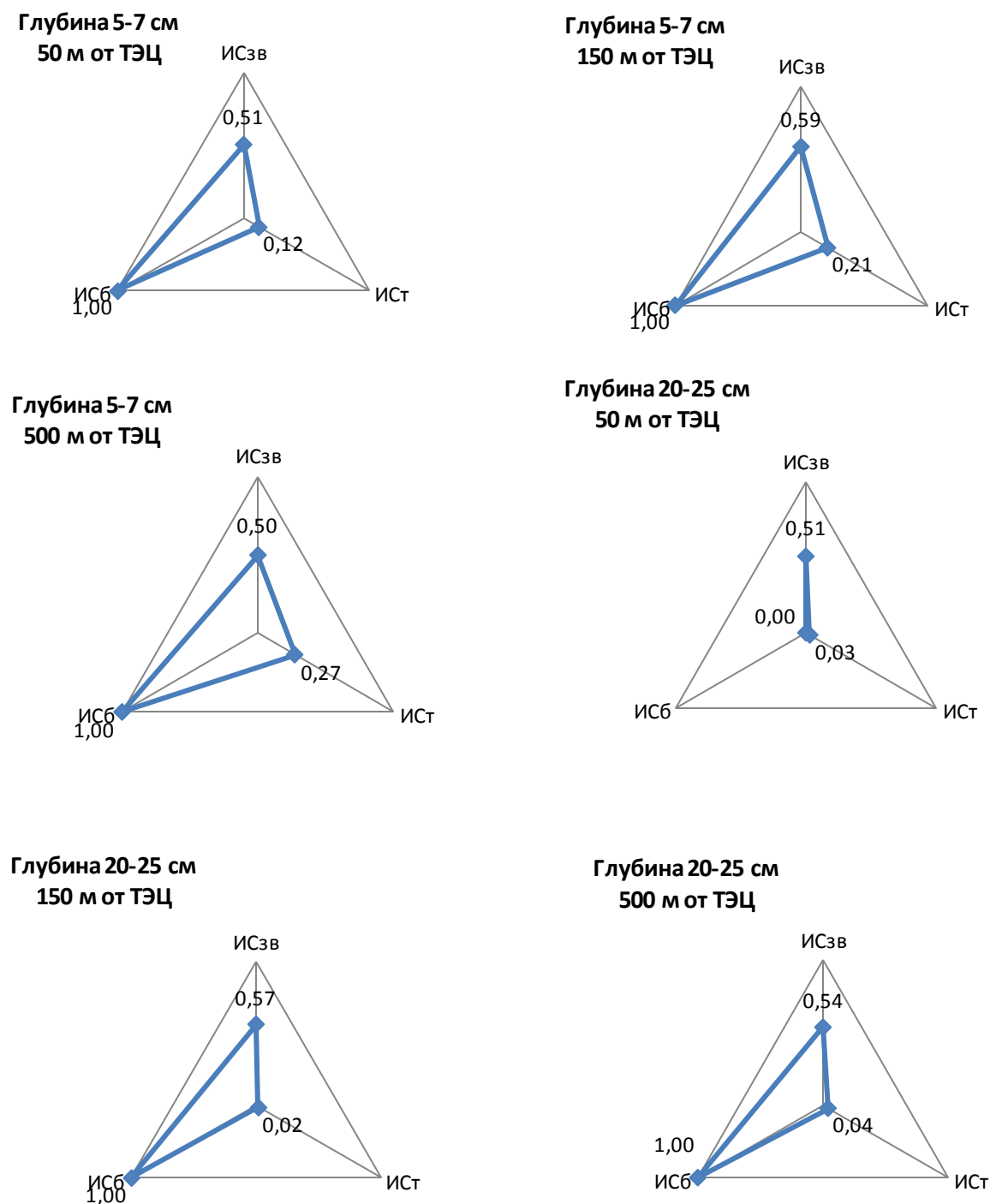


Рис. 8 Оценка экологического состояния почвенных образцов пробных площадок г. Бишкек с использованием триадного подхода.

Из графиков экологического состояния почв видно, что в оценку «напряженности» экологического состояния из спектра исследованных показателей наибольший вклад вносят биологические (биоиндикационные) параметры, в частности, интенсивность почвенного дыхания. При организации мониторинга за исследуемыми площадками именно этим параметрам следует уделять особое внимание. Исключение составляет проба из горизонта 20-25 см, отобранная на расстоянии 50 м от ТЭЦ. Здесь доминирующий вклад в интегральный индекс состояния вносят результаты элементного анализа (рис. 8). Рассчитанный интегральный индекс состояния (ИС) исследованных площадок находится в диапазоне от 0,12 до 0,65 единиц (табл. 3).

Для каждой площадки отбора проб были посчитаны средние индексы состояния **ИСзв**, **Ист**, **ИСб** и средний интегральный индекс состояния **ИС** почв по двум горизонтам (табл. 4).

Таблица 4. Индексы состояния почв исследованных пробных площадок г. Бишкек

Расстояние, м	ИСзв	Ист	ИСб	ИС
50	0,51	0,08	0,50	0,36
150	0,58	0,12	1	0,61
500	0,52	0,16	1	0,61

Графическое изображение усредненных по двум горизонтам результатов исследования почв пробных площадок г. Бишкек на основе триадного подхода позволило отобразить экологическое состояние почв в графическом виде (рис. 9).

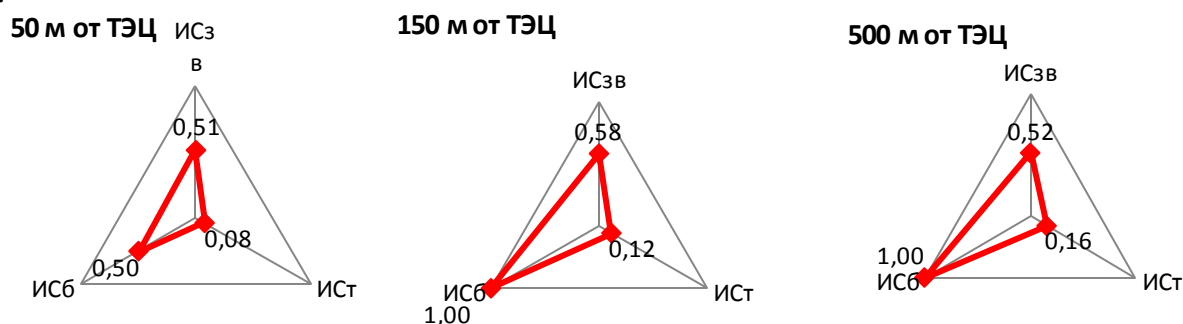


Рис. 9 Оценка экологического состояния почв пробных площадок г. Бишкек с использованием триадного подхода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интегральные индексы экологического состояния (ИС) почв, определенные на основе триадного подхода, были соотнесены с категориями качества и степени нагрузки, аналогично изложенному ранее (Терехова и др., 2014).

Сопоставляя известные в литературе градации экологического качества (Яковлев, Макаров, 2006; Воробейчик и др., 1994) с рассчитанными нами интегральными индексами экологического состояния, учитывающие данные не только химического, но и биологического анализов, можно сделать следующие выводы. Почвы с пробных площадок Бишкека, расположенных на удалении 150 и 500 м от ТЭЦ, относятся к IV категории качества с высокой степенью нагрузки, экологическое состояние этих почв можно охарактеризовать как “сильно нарушенное”. Тогда как почвы, находящиеся на участке, удаленном на 50 м от ТЭЦ, относятся к III категории качества со средней степенью нагрузки, экологическое состояние этих почв можно охарактеризовать как “нарушенное”.

Мы полагаем, что триадный подход обобщения данных позволяет получить более полную характеристику экологического состояния почв по сравнению с анализом индивидуальных откликов представителей биоты или химических показателей.

Работа выполняется при частичной поддержке программы Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития» и гранта МНТЦ KR-2092

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов Б.В., Орлов В.П., Снакин В.В. Биотические критерии выделения зон экологического бедствия России // Изв. РАН. Сер. геогр. 1993. № 5. С. 77 – 89.

2. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994. 280 с.
3. Джундубаев А.К. Проблемы и перспективы использования угля в теплоэнергетике Кыргызской республики / Семинар ЕЭК ООН по экологически чистым угольным технологиям, Республика Казахстан, г. Алма-Ата, 10-12 ноября 2004 г.
4. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почвы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 137 с.
5. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 2003. 202 с.
6. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Рисник Д.В., Милько Е.С. Методические проблемы анализа экологических данных и пути их решения: метод локальных экологических норм // Доклады по экологическому почвоведению. 2013. Вып. 18. № 1. С. 9-22.
7. Опекунов А.Ю. Экологическое нормирование и оценка воздействия на окружающую среду. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006. 261 с.
8. Попутникова Т.О., Терехова В.А. Установление зоны влияния полигона твердых бытовых отходов на почвы по структурно-функциональным изменениям микробных сообществ // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2010. № 2. С. 51–54.
9. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды, М.: "Недра", 1990. 335 с.
10. Смагин А.В. Методологические подходы к построению математических моделей - структурно-функциональной организации почв // Доклады по экологическому почвоведению. –2007. –№2. - Вып. 6. –С. 17-62.

11. Терехова В.А. Обзор о «весомости» биотических индексов в оценке экологического риска и нормировании («weight of evidence approach»)// Междунар.научно-практ.конф. (с элементами научной школы для молодежи 30 сентября-01 октября 2010 г.: Материалы докладов /Сост.: Кулачкова С.А., Макаров О.А. - М.:МАКС Пресс.–2010.- С.161-164.
12. Терехова В.А., Воронина Л. П., Якименко О.С., Кыдралиева К.А. Методика измерений биологической активности гуминовых веществ методом фитотестирования ФР.1.31.2012.11560 Методическое пособие .М.: МГУ. - 2012. 20 с.
13. Терехова В.А. Пукальчик М.А., Яковлев А.С. Триадный подход к экологической оценке городских почв // Почвоведение. 2014. №9. (в печати).
14. Экологические функции городских почв / отв. ред. А.С. Курбатова, В.Н. Башкин. Смоленск, 2004. 232 с.
15. Экологический обзор Кыргызской республики. – Государственное агентство охраны окружающей среды и лесного хозяйства при Правительстве Кыргызской Республики, Бишкек, 2009. 96 с.
16. Яковлев А.С., Макаров О.А. Экологическая оценка, экологическое нормирование и рекультивация земель: основные термины и определения // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2006. № 3 (87). с. 64-70.
17. Chapman P.A decision making framework for sediment assessment developed for the Great Lakes// Human and Ecological Risk Assessment. 2002. V. 8. №7. p. 1641–1655.
18. Dagnino A., Sforzini S., Dondero F., Fenoglio S., Bona E., Jensen J., Viarengo A. A “Weight-of-Evidence” approach for the integration of environmental “Triad” data to assess ecological risk and biological vulnerability// Integr. Environ. Assess. Manage. 2008. № 4. p. 314–326.

19. Ribé V., Auleniusa E., Nehrenheima M., Martellb U., Odlarea M. Applying the Triad method in a risk assessment of a former surface treatment and metal industry site// *Journal of Hazardous Materials Volumes 207–208*, 15 March 2012, p.15–20.
20. Rutgers M, Den Besten P. Approach to legislation in a global context, B. The Netherlands perspective – soils and sediments. In: Thompson KC, Wadhia K, Loibner AP, editors. *Environmental toxicity testing*. Oxford, UK: Blackwell Publishing CRC Press; 2005. p. 269–89.
21. *Semenzin E, Critto A, Rutgers M, Marcomini A. Integration of bioavailability, ecology and ecotoxicology by three lines of evidence into ecological risk indexes for contaminated soil assessment// Sci. Total Environ. 2008. № 389. p. 71–86.*
22. Terekhova V.A. Soil bioassay: Problems and approaches // *Eurasian Soil Science*. 2011. V. 44. № 2. P. 173–179. DOI: 0.1134/S1064229311020141

INTEGRATION OF BIOLOGICAL AND CHEMICAL DATA FOR DIAGNOSIS OF ENVIRONMENTAL STATUS OF KYRGYZ URBAN SOILS BASED ON TRIAD METHOD

TEREKHOVA V.A.^{1,2}, BELIK A.A.², UZBEKS B.A.³ PROKHORENKO V.A.⁴, KHUDAYBERGENOVA B.M.⁵, KYDRALIEVA K.A.⁶, JOROBKOV SH.ZH.⁷

Contact e-mail address: belikalexandra@gmail.com, vterekhova@gmail.com

¹ - Dr., Institute of Ecology and Evolution RAS, Lomonosov Moscow State University;

² - Student, Faculty of Soil Science MSU. MV Lomonosov;

³ - Post-graduate student, International University of Kyrgyzstan;

⁴ - PhD, Institute of Chemistry and Chemical Technology, National Academy of Sciences of Kyrgyzstan;

⁵ - Dr., Institute of Biotechnology of NAS Kyrgyzstan ;

⁶ - Doctor of Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical Technology, National Academy of Sciences of Kyrgyzstan

The methodology of Triad approach was applied to characteristic of the ecological status of urban ecosystems in Bishkek (Kyrgyz Republic). The possibility of correlation data of chemical analysis, bioassay and bioindication with the rating scale loss of soil quality was demonstrated. It is noted that the Triad approach provides a more complete characterization of the ecological state of soils in comparison with the analysis of the response of only biota representatives or chemical indicators.