

**Таблица1- Значения время адсорбционного равновесия в зависимости без и с учетом застойной зоны адсорберов**

Время, с	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Без учета застойной зоны	160	190	300
С учетом застойной зоны	110	186	240

В результате выявлено, что адсорбционное равновесие для компонента CO<sub>2</sub> в адсорбере без учета застойной зоны происходит через 300 секунд, а с ее учетом через 240 секунд.

Это явление объясняется тем, что при учете застойной зоны массообмен в адсорбере значительно улучшается.

### **Список использованных источников**

1. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники – М.: Химия, 1984. 592 с.
2. 21-я конференция, проводимая в рамках "Рамочной конвенции ООН об изменении климата (СОР 21)". Париж 30.11. - 12.12.2015.
3. Никифиров И.А. Адсорбционные методы в экологии. Саратовский государственный университет, 2011, 48 с.
4. Юсубов Ф.В. Адсорбция разделение газовых смесей CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> в не подвижном слое адсорбента. Материалы III международный научной практической конференции “Булатовские чтения”, 2019, с. 159-162, Краснодар

УДК 541 (64+13); 631.4

**О.С. Якименко, Д.А. Грузденко, В.А. Терехова, И.Г. Панова**  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Москва, Россия

### **СИНТЕТИЧЕСКИЕ И ПРИРОДНЫЕ БИОПОЛИМЕРЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СВОЙСТВ ПОЧВ И СОЗДАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ГРУНТОВ**

*Аннотация.* Исследовано воздействие почвенных модификаторов нового поколения на основе полиэлектролитов на агрегатный состав, состав обменных катионов, фитотоксичность, и экотоксичность искусственной почвы (конструктозема). Результаты работы могут быть использованы для создания стабильных и продуктивных искусственных грунтов.

**O.S. Yakimenko, D.A. Gruzdenko, V.A. Terekhova, I.G. Panova**  
Lomonosov Moscow State University named after M.Lomonosov  
Moscow, Russia

## **SYNTHETIC AND NATURAL BIOPOLYMERS FOR OPTIMIZATION OF SOIL PROPERTIES AND CONSTRUCTION OF ARTIFICIAL SOILS**

***Abstract.** Effect of new polyelectrolyte-based soil conditioners on soil aggregate composition, exchangeable cations, phytotoxicity, and ecotoxicity of artificial soil (constructozem) was studied. The results of the work can be used to create stable and productive artificial soils.*

**ВВЕДЕНИЕ.** Гидрофильные и амфифильные полимерные материалы находят все большее применение для разработки экологически безопасных агротехнологий. В частности, современные полимерные рецептуры применяют для стабилизации почвенной структуры и рекультивации почв [1]. Помимо индивидуальных полимеров в качестве структурообразователей почв и грунтов предложено использовать интерполиэлектrolитные комплексы (ИПЭК), продукты взаимодействия противоположно заряженных ионных полимеров – полиэлектролитов (ПЭ) [2]. Нанесение водного раствора ИПЭК на поверхность почвы приводит к формированию композиционных полимерно-почвенных покрытий с выраженными противозерозионными свойствами [3]. Для улучшения качества искусственно сконструированных грунтов (конструктоземов), используемых при городском озеленении, перспективно смешивание ИПЭК со всем объемом почвенной массы.

Показано, что в качестве составляющих ИПЭК могут выступать не только синтетические, но и природные ПЭ, в том числе гуминовые вещества (природные полианионы) [4]. Способность ИПЭК с участием биополимеров улучшать структуру почвы, подавлять эрозионные процессы и восстанавливать состояние деградированных почв описана ранее [2-4]. В отношении влияния ИПЭК на базовые почвенно-химические и экотоксикологические показатели систематических исследований ранее не проводилось.

Цель данного исследования - в серии модельных экспериментов изучить влияние трёх видов ПЭ: поликатиона полидиаллилдиметиламмоний хлорида (ПДАДМАХ); анионного биополимера на гуминовой основе (лигногумат ЛГ), и положительно заряженного интерполиэлектrolитного комплекса (ИПЭК),

полученного смешением ПДАДМАХ и ЛГ, на комплекс агрофизических, агрохимических свойств почв и экотоксичность.

### **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ**

**Материалы.** Катионный ПДАДМАХ (Sigma-Aldrich) и анионный ЛГ (НПО «РЭТ», Россия) использовали без дополнительной очистки. ИПЭК получали сливанием водных растворов ПДАДМАХ и ЛГ, предварительно доведенных до рН 7.

**Вегетационный опыт.** В качестве почвенного субстрата использовали отвал строительного грунта (конструктозём). Растворы полимеров с концентрацией 5% для ПДАДМАХ и ЛГ и 1, 2 и 5% для ИПЭК перемешивали с грунтом при помощи строительного миксера до получения однородной массы (1,5 л полимерного состава добавляли к 15 кг конструктозёма, в контрольном варианте добавляли дистиллированную воду). На экспериментальном полигоне МГУ формировали деланки размером 0,5м×0,5м. Модифицированный конструктозем (МК) помещали в подготовленные деланки. Через месяц с деланок отбирали образцы для исследования физических/химических свойств почв МК и оценки фитотоксичности.

Влияние полимеров на агрегатный состав МК в экспериментальных деланках проводили методами сухого и мокрого просеивания. По результатам сухого просеивания рассчитывали долю агрономически ценных агрегатов с размерами 0,25-10 мм (АЦА) и коэффициент структурности Кстр как отношение количества агрегатов от 0,25 (“пыль”) и более 10 мм (“глыбы”) к суммарному содержанию агрегатов размером менее 0,25 мм и более 10 мм. За меру водоустойчивости МК принимали суммарную долю фракций размером 0,25-5 мм, полученную при мокром просеивании.

Содержание обменных оснований ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) определяли по методу Пфедфера; содержание элементов в экстракте определяли методом ААС.

Оценку хронической фитотоксичности МК проводили на культуре горчицы белой *Sinapis alba*. Образцы МК помещали в сосуды, высевали 10 семян и экспонировали 28 суток при 23°C в режиме 16 час день/8 час ночь при периодическом поливе, после чего определяли длину надземной части проростков.

**Оценка экотоксичности в модельных экспериментах.** Токсичность ПЭ оценивали с использованием набора стандартных тест-культур: биOLUMИнесцентного штамма бактерий *Escherichia coli*, инфузорий *Paramecium caudatum*, половых клеток млекопитающих (сперматозоиды быка *in vitro*) и трех видов высших растений *Sinapis alba*, *Raphanus sativum* и *Triticum durum*. Отклики тест-культур

оценивали (1) в водной матрице при непосредственном контакте тест-культур с ПЭ и (2) после взаимодействия полимера с почвенной матрицей. Для оценки непосредственного воздействия ПЭ на тест культуры, ПЭ вводили в культуральную среду в диапазоне концентраций  $0.5-5.0 \times 10^4$  мг/л и оценивали токсичность с применением соответствующих протоколов. Экоотоксичность ПЭ после взаимодействия с почвой оценивали в почвенных вытяжках и непосредственно в смесях почва-ПЭ. Вытяжки (1:4) готовили из модельных смесей почва-ПЭ, имитирующих состав почвенно-полимерного композита и содержащих 1, 2 и 4 г ПЭ/кг почвы. Биотестирование проводили в отношении бактерий, половых клеток млекопитающих и высших растений. В тех же смесях оценивали хроническую фитотоксичность аппликатным методом.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Структурообразующее действие полиэлектролитов по отношению к конструкторозему отражено на рис. 1. Исходный конструкторозем характеризуется широким набором структурных агрегатов с высокой долей крупных «глыбистых» частиц (47%) и коэффициентом структурности  $K_{стр}=1,0$ . Агрономически ценные агрегаты в составе конструкторозема отличаются высокой водостойкостью (78%).

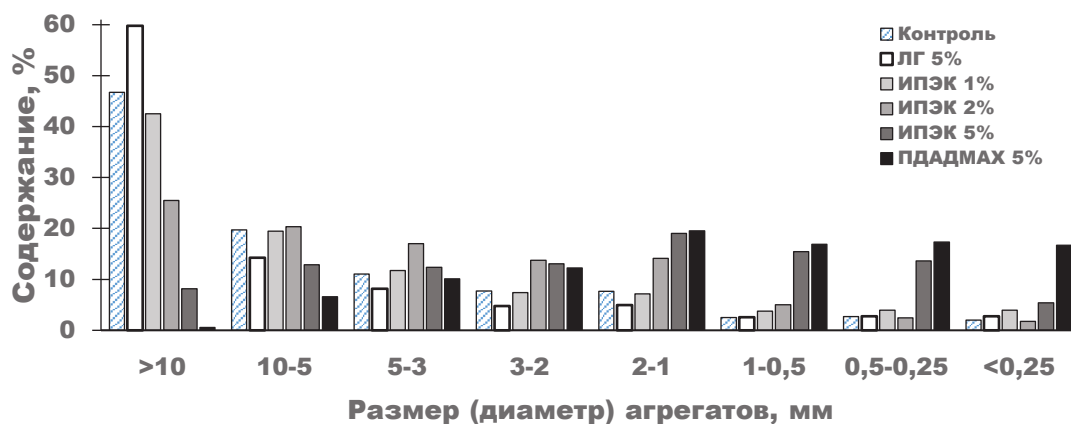


Рис. 1 - Влияние ПЭ на распределение почвенных структурных агрегатов по размеру

Добавление 0,5 вес% катионного ПДАДМАХ к конструкторозему практически полностью разрушает «глыбистые» частицы и переводит их в категорию агрономически ценных агрегатов, при этом коэффициент структурности повышается до  $K_{стр}=4,8$ . Аналогичный эффект вызывает добавление 0,5% ИПЭК, с дополнительным увеличением коэффициента структурности до  $K_{стр}=6,3$ . ИПЭК

выступает в двойной роли: диспергатора «глыбистых» частиц и одновременно стабилизатора разрушенных фрагментов; это позволяет ИПЭК блокировать образование «пылеватых» частиц в гораздо большей степени, чем это делает индивидуальный катионный ПДАДМАХ.

Влияние ПЭ на содержание обменных оснований в МК выражено слабо. Внесение всех препаратов в концентрациях 1-5% не приводит к значимому изменению количества обменного кальция и обменного магния. Достоверное увеличение калия в вариантах с внесением препаратов ИПЭК в концентрации 2% и 5% и ЛГ в концентрации 5% обусловлено наличием калия в качестве противоиона в составе ПЭ и ИПЭК.

Влияние ПЭ на фитотоксичность конструкторозема. Развитие растений в МК оценивали, измеряя длину 28-дневных проростков горчицы в хроническом фитотесте. Подавление роста растений по сравнению с контролем не было зарегистрировано ни в одном из вариантов опыта. Действие катионного ПДАДМАХ не отличалось от контроля, тогда как анионный ЛГ, сертифицированный стимулятор роста растений, увеличивал длину проростков на 70%. Положительный эффект от ИПЭК усиливался с ростом его доли в МК и доходил до 50-70% в образцах с 0,2-0,5% ИПЭК, что сопоставимо с действием ЛГ. Это означает, что биологически активные компоненты в составе ЛГ сохраняли свою активность и в составе ИПЭК.

Оценка экотоксичности ПЭ в модельном эксперименте. При непосредственном контакте в водной матрице препараты ПДАДМАХ и ИПЭК были высоко токсичны для бактерий и инфузорий во всех испытанных концентрациях и менее токсичны для клеток млекопитающих. Высшие растения были менее чувствительны к полимерам с прогрессивным снижением токсичности в ряду ПДАДМАХ>ИПЭК>ЛГ. После взаимодействия с почвой токсичность ПДАДМАХ и ИПЭК значительно снизилась. Вытяжки из образцов почвы с внесёнными ПЭ в дозах 2 и 4 г/кг не оказывали негативного влияния на бактерии и проростки высших растений.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

ИПЭК на основе синтетического поликатиона и полианиона гуминовой природы оптимизирует агрегатный состав конструкторозема, существенно увеличивая содержание агрономически ценных агрегатов размером 0,25-10 мм. Внесение ИПЭК в концентрациях 1-5% не приводит к значимому изменению количества обменных катионов, кроме калия. Обработка конструкторозема поликомплексом стимулирует рост и развитие растений; эти показатели сравнимы с таковыми для ЛГ,

сертифицированного стимулятора роста растений. В водном растворе наблюдается токсичность катионных ПДАДМАХ и ИПЭК по отношению к бактериям и простейшим. Однако, в почвенной среде катионные полимеры, связываются с органическими и минеральными компонентами почвы, что снижает токсичность поликатиона. Результаты работы могут быть использованы для создания стабильных и продуктивных искусственных грунтов.

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

### **Список использованных источников**

1. Кульман А. Искусственные структурообразователи почвы. М.: Колос, 1982.
2. Панова И.Г., Ильясов Л.О., Ярославов А.А. Поликомплексные рецептуры для защиты почв от деградации // Высокомолекулярные соединения. Серия С. 2021. Т. 63. № 2. С. 232-244.
3. Панова И.Г., и др., 2019. Полиэлектролитные комплексы гуматов калия и поли (диаллилдиметиламмоний хлорида) для закрепления песчаного грунта // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б. Т. 61. №6. С. 1-6.
4. Panova I., et al., 2018. Humics-based interpolyelectrolyte complexes for antierosion protection of soil: Model investigation // Land Degrad Dev.30. P. 337–347

УДК 502.5

**М.Н. Буель, А.В. Яцкевич**

Филиал БГТУ «Белорусский государственный колледж промышленности строительных материалов»  
Минск, Беларусь

### **ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРОВЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Аннотация. Битумосодержащий кровельный мусор засоряет нашу землю, лесные массивы, водоемы. При повторном использовании*