

УДК 631.618

БОНИТИРОВОЧНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ СИБИРИ (НА ПРИМЕРЕ ОТВАЛОВ АНТРАЦИТОВЫХ, КАМЕННО- И БУРОУГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ)

¹И.Н. Госсен, кандидат биологических наук

²С.П. Кулижский, доктор биологических наук, профессор

¹Е.Б. Данилова, инженер

¹Д.А. Соколов, кандидат биологических наук

¹Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

²Томский государственный университет

E-mail: igor-gossen@yandex.ru

Ключевые слова: эмбриоземы, отвалы угольных разрезов, плотность почв, содержание тонкодисперсных фракций, углерод педогенных органических веществ, балл бонитета почв

Реферат. Проведены исследования по оценке факторов, лимитирующих скорость восстановления почвенного покрова в техногенных ландшафтах, представленных 30-летними спланированными отвалами антрацитовых, каменно- и бурогоугольных месторождений Сибири. Показано, что в схожей природно-климатической обстановке на исследуемых отвалах складывается неодинаковое почвенно-экологическое состояние. Это проявляется в формировании мозаичного почвенного покрова, отражающего неоднородность экологических условий различных местообитаний. Выявлено, что основными условиями, лимитирующими восстановление почвенно-экологических функций в техногенных ландшафтах, являются содержание углерода педогенных органических веществ при почвообразовании на рыхлых отложениях и содержание тонкодисперсных фракций при почвообразовании на плотных породах. На основе количественной оценки свойств почв рассчитан балл бонитета исследуемых почв и участков. Показано, что существует зависимость между степенью метаморфизации исходных пород отвалов, условиями почвообразования и почвенно-экологическим состоянием, складывающимся в процессе функционирования техногенного ландшафта.

Добыча угля открытым способом влечет за собой увеличение площади нарушенных территорий. К примеру, добыча 1 млн т угля сопровождается разрушением до 36 га естественных ландшафтов, на месте которых создаются техногенные со специфическими свойствами и режимами функционирования. В среднем по России в год добывается около 350 млн т угля. Соответственно из земельного фонда ежегодно отчуждается около 10 тыс. га сельскохозяйственных, лесных и других территорий [1]. Поскольку примерно 76% добычи энергетических ресурсов страны приходится на Сибирь, проблемы, связанные с восстановлением экологических функций нарушенных угольной промышленностью территорий, особенно актуальны. Актуальности добавляет также то обстоятельство, что в последнее время в регионах Сибирского федерального округа идет интенсивная добыча углей не только различных марок, но и видов, включая каменные, бурые угли и антрацит. В результате техногенные ландшафты, сформированные породами, метаморфизованными

в разной степени, отличаются не только по влиянию на прилегающие территории, но и по скорости восстановления почвенно-экологических функций.

Для оценки этих явлений используют методы бонитировки почв. Впервые бонитировочный подход, применительно к отвалам месторождений бурого угля, был применен в Венгрии. При оценке почв учитывались основные показатели водно-физических и физико-химических свойств, а также микрорельефа, климата и продуктивности пахотных земель [2]. Известны работы по бонитировке почв отвалов каменноугольных разрезов Сибири [3, 4].

Поэтому цель данного исследования состоит в том, чтобы при использовании бонитировочного подхода оценить факторы, лимитирующие скорость восстановления почвенного покрова, сравнить почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов, представленных отвалами антрацитовых, каменно- и бурогоугольных месторождений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для достижения поставленной цели в качестве объектов были выбраны участки разновозрастных техногенных ландшафтов, представленных отвалами углевмещающих пород, метаморфизованных в различной степени. Исследовались почвы техногенных ландшафтов Горловского антрацитового месторождения (Новосибирская область) и Листвянского каменноугольного разреза (Кемеровская область), сформированных на отвалах плотных осадочных пород. Несмотря на то, что рассматриваемые отвалы обоих месторождений сложены различными по размерности обломками аргиллитов, алевролитов и песчаников, преимущественно балахонской и кольчугинской стратиграфической серии, для Горловского угольного разреза свойственна большая степень метаморфизации этих пород [5]. Отвалы Назаровского бурогоугольного разреза (Красноярский край) сложены в основном рыхлыми осадочными породами – лессовидными суглинками с незначительной примесью обломков песчаников. Выбранные участки техногенных ландшафтов представляют собой 30–35-летние спланированные отвалы.

Все исследуемые объекты сформированы в лесостепной зоне Западной Сибири. Схожесть природно-климатических условий почвообразования определяется отношением значений годового количества осадков и среднегодовой температуры [6, 7]. Это подтверждается также тем, что горизонтальные автономные позиции ненарушенных ландшафтов данных территорий заняты выщелоченными среднемоющими черноземами [8–10].

Таким образом, по мере увеличения степени метаморфизма слагающих техногенные ландшафты пород исследуемые углеразрезы выстраиваются в следующий монофакторный ряд: Назаровский – Листвянский – Горловский.

Качественная оценка почвенно-экологического состояния проводилась посредством детального почвенного картирования выбранных участков, которое выполнялось на основе классификации почв техногенных ландшафтов И.М. Гаджиева и В.М. Курачева [11]. Поскольку выбранные отвалы рассматриваемых углеразрезов неравнозначны по площади, их поверхность разделялась на несколько участков, характеризующихся схожестью состава почвенного покрова. На каждом из этих участков закладывалось 2–3 площадки сплошного почвенного картирования. После этого методом географической экстраполяции, предложенным

В.А. Андрохановым и В.М. Курачевым [3], выполнялся расчет параметров, характеризующих состав почвенного покрова всего отвала.

На исследуемых участках были выделены инициальные, органоаккумулятивные, дерновые и гумусово-аккумулятивные эмбриоземы. Каждому типу эмбриоземов соответствует определенная стадия почвообразования, диагностируемая по выраженности соответствующего типодиагностирующего процесса [3, 12]. Градация почвенно-экологического состояния участков осуществлялась по схеме, предложенной В.А. Андрохановым и В.М. Курачевым [4], по которой все условия почвообразования делятся на пять нижеследующих категорий:

- 1) неудовлетворительное – скорость почвообразования на участке крайне низкая и почвы в течение 20-летнего периода остаются инициальными эмбриоземами;
- 2) удовлетворительное – почвообразовательные процессы идут медленно и в 20-летний период не приводят к образованию гумусово-аккумулятивных эмбриоземов;
- 3) хорошее – гумусово-аккумулятивные эмбриоземы формируются за период продолжительностью 20 лет;
- 4) очень хорошее – гумусово-аккумулятивные эмбриоземы формируются за 15–20 лет;
- 5) отличное – гумусово-аккумулятивные эмбриоземы формируются за период до 15 лет.

Однако по причине того, что возраст исследуемых техногенных ландшафтов существенно превышает предложенные в градации временные ориентиры, для более детальной оценки почвенно-экологического состояния были использованы методы, лежащие в основе современной бонитировки почв [13, 14]. Так, для количественной оценки почвенно-экологического состояния рассматриваемых объектов для каждого типа почв рассчитывался балл бонитета, который отражает меру соответствия свойств почв техногенных ландшафтов по отношению к зональным. Сравнение баллов бонитета при этом позволяет оценить их различия и тем самым определить перспективы самовосстановления экосистем [3]. Почвенно-экологическое состояние (ПЭС) участков техногенных ландшафтов при таком подходе можно выразить в баллах бонитета по формуле

$$\text{ПЭС (б.б.)} = B_{\pi} \times K_{\phi} \quad (1)$$

где B_{π} – балл бонитета зональной почвы;

K_{ϕ} – коэффициент специфичности свойств почв техногенного ландшафта по отношению к зональным, в долях от единицы.

Поскольку зональными почвами для данной территории являются выщелоченные черноземы с баллом бонитета, близким к 100 [14], для упрощения процедуры расчетов коэффициент специфичности был выражен в процентах. Таким образом, балл бонитета техногенных почв численно равен их коэффициенту специфичности, выраженному в процентах.

Коэффициент специфичности почвы рассчитывается по основным почвенным показателям. Величина этого коэффициента характеризует индивидуальные особенности субстрата, лимитирующие или стимулирующие развитие почвенно-экологических функций. В случае с отвалами угольных разрезов основное влияние на развитие процессов почвообразования оказывают рельеф, содержание физической глины, плотность сложения субстрата и содержание гумуса [3, 4]. Численные значения этого коэффициента характеризуют степень отклонения почвенного показателя от контрольного значения в зональной почве, выбранной в качестве эталона. Вне зависимости от того, ниже или выше рассматриваемый показатель, чем он больше отличается от контрольного варианта, тем меньше K_c .

Так, коэффициент специфичности субстрата по содержанию физической глины можно рассчитать следующим образом:

$$K_{с.ф.г.} = \frac{K_{ф.г.э.} \times 100}{K_{ф.г.зон. почвы}}, \quad (2)$$

где $K_{с.ф.г.}$ – коэффициент специфичности по содержанию физической глины;

$K_{ф.г.э.}$ – содержание физической глины в молодых эмбриоземах;

$K_{ф.г.зон. почвы}$ – содержание физической глины в зональной почве.

Подобно расчету $K_{с.ф.г.}$ рассчитывается коэффициент специфичности субстрата по плотности, но в силу того, что почвы техногенных ландшафтов, как правило, более уплотнены, в числитель формулы ставят плотность зональной почвы, а в знаменатель – молодой:

$$K_{с.рб} = \frac{P_{бзон. почвы} \times 100}{P_{бэ.}}, \quad (3)$$

где $K_{с.рб}$ – коэффициент специфичности по плотности сложения;

$P_{бзон. почвы}$ – плотность сложения зональной почвы;

$P_{бэ.}$ – плотность сложения эмбриоземов.

Так же рассчитывается коэффициент специфичности по содержанию гумуса. Однако по причине того, что для расчета содержания гумуса используется содержание органического углерода

в почвах, помноженное на коэффициент пересчета, то для упрощения в расчетах использовалось содержание углерода педогенных органических веществ:

$$K_{с.спед.} = \frac{C_{пед.э.} \times 100}{C_{пед.зон. почвы}}, \quad (4)$$

где $K_{с.спед.}$ – коэффициент специфичности по содержанию углерода педогенных органических веществ;

$C_{пед.э.}$ – содержание педогенного углерода в эмбриоземах;

$C_{пед.зон. почвы}$ – содержание педогенного углерода в зональной почве.

Коэффициент специфичности по рельефу в расчете не используется, поскольку на всех исследуемых участках проведена планировка, в результате которой их поверхность доведена до горизонтальной.

В общем виде коэффициент специфичности почв техногенного ландшафта рассчитывается как среднее значение коэффициентов специфичности субстрата по плотности, содержанию физической глины и педогенного органического углерода:

$$K_c = \frac{K_{с.ф.г.} + K_{с.рб} + K_{с.спед.}}{3}; \quad (5)$$

где K_c – коэффициент специфичности, средний по всем значениям.

Почвенно-экологическое состояние всего участка рассчитывается с учетом соотношения площадей почв, представленных на данной территории:

$$ПЭС = \frac{K_{с1}P_1 + K_{с2}P_2 + \dots + K_{сn}P_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n}; \quad (6)$$

где ПЭС – почвенно-экологическое состояние, выраженное в баллах бонитета;

$K_{с1,2,\dots,n}$ – коэффициент специфичности каждой отдельной почвы, встречающейся на участке, %;

$P_{1,2,\dots,n}$ – площадь отдельной почвы, % от общей площади участка.

При таком подходе полученные количественные значения позволяют определить не только меру соответствия свойств молодых почв по отношению к зональным, но и рассчитать средневзвешенный балл для всего участка, а также сравнивать почвенно-экологическое состояние различных техногенных ландшафтов.

Методическую основу исследований обеспечили общепринятые в почвоведении методы, описанные в руководствах по исследованию химических и физических свойств почв [15–19]. Статистическую обработку экспериментальных

данных проводили методом дисперсионного анализа в программе SNEDECOR V5.6. Кроме того, поскольку определение содержания гумуса традиционными методами в почвах, сформированных на богатых углистым материалом породах, невозможно [20, 21], оценка количества углерода педогенных органических веществ производилась с учетом его функций и осуществлялась двумя способами.

В первом способе учитывалась способность гумуса к депонированию элементов питания. Известно, что для полноценного функционирования в почвах систем гумусовых веществ оптимальное соотношение между углеродом и азотом в корнеобитаемом слое черноземов должно быть 10:1 [22]. При этом, как известно, 98% азота почвы приходится на педогенное органическое вещество [23]. В исследуемых почвах, помимо этого, азот может содержаться также и в углях. Причем в углях исследуемых месторождений доля азота не превышает 4% от массы, а отношение долей азота к углероду (C/N) более 15 [24]. Принимая во внимание то, что окисленные углистые частицы могут выполнять ряд функций педогенного органического вещества [25], можно с уверенностью отнести этот азот к гумусу. Таким образом, опираясь на известное соотношение углерода и азота, можно принять, что педогенная составляющая органического углерода в исследуемых почвах в 10 раз превышает содержание азота [26]. Предлагаемый способ позволяет косвенно определить содержание гумуса в почвах, обогащенных частицами бурого угля. Однако в силу того, что азот органического вещества в каменных углях, и особенно в антрацитах, входит не только в алифатическую, но и в ароматическую часть [27] и не участвует в процессах функционирования почв, предлагаемый способ определения применим только для почв отвалов бурого угольного разреза.

Другой способ использовался при определении содержания гумуса в почвах отвалов каменноугольного и антрацитового месторождений. В данном случае расчет производился посредством определения литогенного потенциала гумусонакопления (ЛПГ) зональных почв. Основан этот способ на том, что педогенное органическое

вещество находится в почвах не в свободном состоянии, а входит в состав органоминеральных комплексов [28, 29]. Так, в принятых в качестве эталона сравнения выщелоченных черноземах максимально возможное содержание педогенного углерода составляет 7%, или, в пересчете на гумус, 12%. Стабилизация в черноземах такого количества углерода обеспечивается благодаря наличию тонкодисперсных фракций (менее 0,01 мм), содержание которых составляет 55% от массы почвы. Получается, что 1 г тонкодисперсного материала почв отвечает за закрепление и устойчивое функционирование 0,13 г углерода. Используя эту величину, а также фактическое содержание в эмбриоземах фракции менее 0,01 мм рассчитали ЛПГ [30]. Поскольку накопление основной части физической глины в эмбриоземах является результатом процессов органоминерального взаимодействия [31], то величина ЛПГ была принята за содержание педогенного органического вещества.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Картографирование показало, что почвенный покров исследуемых техногенных ландшафтов мозаичен и отражает разнообразие элементов поверхности с неодинаковым петрографическим и минералогическим составом пород. Так, на поверхности отвала Горловского антрацитового месторождения в составе почвенного покрова преобладают органоаккумулятивные эмбриоземы, которые занимают 69% площади (таблица).

Существенно меньше площадь инициальных и дерновых эмбриоземов – 19 и 12% соответственно. По качеству условий местообитания на данном участке почвенно-экологическое состояние, согласно градации В.А. Андроханова и В.М. Курачева [4], определяется в пределах от неудовлетворительного до удовлетворительного. Это обусловлено тем, что, хотя за 35 лет и сформировались эмбриоземы дерновые, в составе почвенного покрова преобладают органоаккумулятивные, что свидетельствует о медленном протекании почвообразовательных процессов.

Структура почвенного покрова исследуемых участков, %

Тип эмбриозема	Участок отвала месторождения		
	антрацитового	каменноугольного	буроугольного
Инициальный	19	12	–
Органоаккумулятивный	69	25	–
Дерновый	12	48	22
Гумусово-аккумулятивный	–	15	78

Иная ситуация складывается на участке отвала Листвянского каменноугольного разреза. Здесь в составе почвенного покрова преобладают дерновые эмбриоземы, занимающие 48% площади участка. Почти вдвое меньше площадь органоаккумулятивных эмбриоземов (25%), а на инициальные и гумусово-аккумулятивные приходится 12 и 15% площади участка. Почвенно-экологическое состояние данного участка, согласно используемой градации, определяется в пределах от неудовлетворительного до отличного.

Более благоприятная обстановка для почвообразования складывается на отвале Назаровского бурогоугольного разреза. Здесь состав почвенного покрова представлен двумя типами эмбриоземов более поздних стадий почвообразования, где преобладают гумусово-аккумулятивные эмбриоземы, занимающие 78% площади участка. Почвенно-экологическое состояние этого участка оценивается как хорошее, очень хорошее и отличное.

Таким образом, качественная оценка почвенно-экологического состояния показала, что наилучшими условиями в ряду исследуемых объектов характеризуется участок отвала бурогоугольного разреза. Наихудшее состояние – на участке отвала антрацитового месторождения. Однако такая оценка почвенно-экологического состояния не позволяет учитывать возможной вариабельности свойств почв одного и того же типа, но сформированных на различных породах, и в целом не дает возможности оценивать почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов в сравнении с естественными. Поэтому для более детальной

оценки были исследованы основные физические и химические свойства эмбриоземов.

Как известно, скорость развития сукцессий сообществ живых организмов, выступающих в качестве ведущего механизма преобразования, в значительной степени зависит от эдафических условий корнеобитаемого слоя, свойства которого во многом определяются особенностями формирования техногенного ландшафта на горно-техническом этапе [32]. Вместе с этим по мере развития почвообразования в эмбриоземах отмечается изменение таких показателей, как гранулометрический состав, плотность сложения и содержание углерода, приводящее к улучшению эдафических условий.

Результаты проведенных исследований по определению гранулометрического состава эмбриоземов использовались для расчета коэффициентов специфичности по содержанию физической глины. В качестве зональной почвы принимался чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый с долей фракции менее 0,01 мм, составляющей 55%. Расчеты показали наибольшее содержание этой фракции в почвах отвалов бурогоугольного разреза, по отношению к черноземам составляющее 75–85% (рис. 1). В образцах почв, сформированных на плотных породах, коэффициенты специфичности находятся в следующих пределах: в инициальных эмбриоземах – от 15 до 17%, в органоаккумулятивных – от 11 до 18, в дерновых – от 25 до 31%. Максимальным содержанием этой фракции характеризуются гумусово-аккумулятивные эмбриоземы, где K_c по содержанию физической глины более 37%.

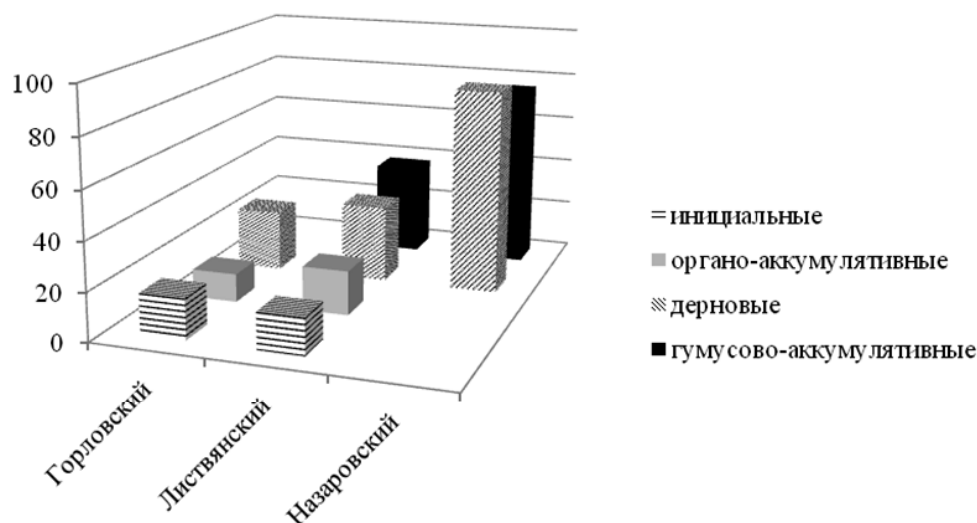


Рис. 1. Значения коэффициентов специфичности по содержанию фракции менее 0,01 мм в слое 0–10 см исследуемых эмбриоземов

Еще одной особенностью эдафических условий исследуемых техногенных ландшафтов, представленных отвалами угольных разрезов, является плотность сложения почв. Связано это с тем, что их формирование происходит при участии различного рода технических средств. В разработке месторождения могут участвовать экскаваторы, автомобильная или железнодорожная техника и другие средства, осуществляющие отсыпку и перемещение пород. Все они выполняют определенные функции на разных этапах формирования отвала и оказывают на него определенное воздействие. В итоге почвообразовательные процессы начинают протекать на поверхности, характеризующейся пространственной неоднородностью не только по составу пород, но и по степени их уплотненности. Со временем, по мере развития структурообразовательных процессов, плотность почв техногенных объектов может ме-

няться [32], однако, по сравнению с естественными, они длительное время остаются сильно переуплотненными.

Общеизвестно, что плотность является одной из основных почвенно-физических характеристик почв, поскольку определяет их влажность, объем и структуру порового пространства, в котором и происходят основные почвенные процессы. Плотность естественных почв, сформированных на рыхлых отложениях, изменяется в пределах от 0,8 до 1,8 г/см³, однако в каменистых почвах она может быть выше 2 г/см³ и определяется фракционным и породным составом скелетной части. Проведенные исследования показали, что все почвы техногенных ландшафтов характеризуются более высокими значениями по сравнению с зональными (рис. 2). Максимальная плотность (2,2 г/см³), была отмечена в инициальных эмбриоземах, минимальная – в гумусово-аккумулятивных (1,2–1,5 г/см³).

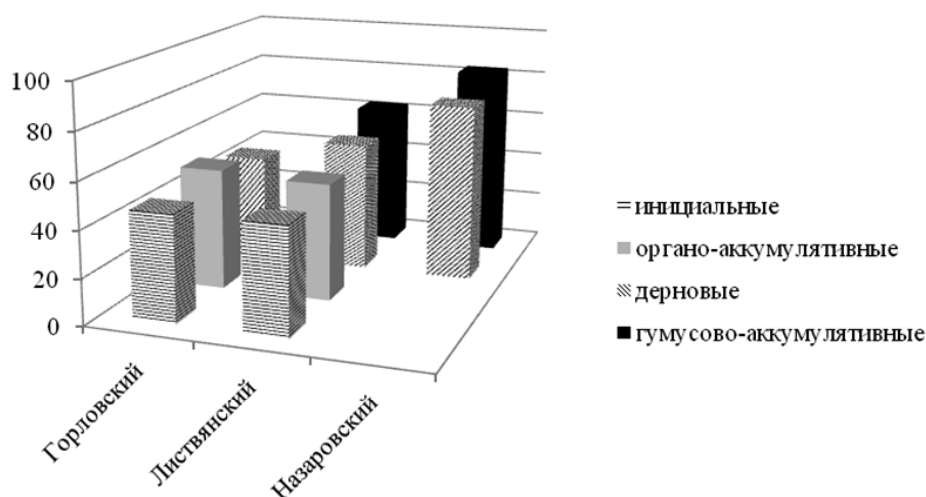


Рис. 2. Значения коэффициентов специфичности по плотности слоя 0–10 см исследуемых эмбриоземов

Поскольку исходная плотность субстратов отвалов определяется не только гранулометрическим составом пород, но и, к примеру, их влажностью в момент отсыпки или планировки, то для более точной количественной оценки почвенно-экологического состояния были рассчитаны коэффициенты специфичности по плотности исследуемых почв. Расчеты показывают, что плотность почв оцениваемых участков по мере их эволюции снижается и приближается к таковой черноземов, равной 1 г/см³ (см. рис. 2). Так, минимальными коэффициентами специфичности по плотности характеризуются инициальные эмбриоземы (около 45 %), максимальными – гумусово-аккумулятивные (от 63 до 83 %).

Оценивая следующий показатель, определяющий почвенно-экологическое состояние, важно понимать, что особенностью почвообразовательного процесса, протекающего на отвалах угольных разрезов, является высокая пространственная изменчивость по содержанию органического вещества, во многом характеризующего состояние почв как источника элементов питания. В первую очередь это объясняется высоким содержанием угля в слагающих отвалы породах, а также особенностями естественного возобновления растительности, что в совокупности предопределяет высокую вариабельность накопления педогенного органического вещества в эмбриоземах. Тем не менее использование предлагаемых выше подхо-

дов позволяет выявить основные закономерности развития процессов столь специфического техногенного гумусонакопления, протекающего в рассматриваемых ландшафтах.

При расчете коэффициента специфичности по содержанию педогенных органических веществ за основу принималось их содержание в зональных нарушенных почвах, составляющее 7%. Полученные

результаты свидетельствуют о том, что по мере развития почвообразовательных процессов содержание педогенного органического вещества в исследуемых почвах приближается к таковому в черноземах. Так, минимальные значения $K_{с\text{Спед.}}$ свойственны для инициальных и органоаккумулятивных эмбриоземов (от 12 до 18%), максимальные – для гумусово-аккумулятивных (от 38 до 47%) (рис. 3).

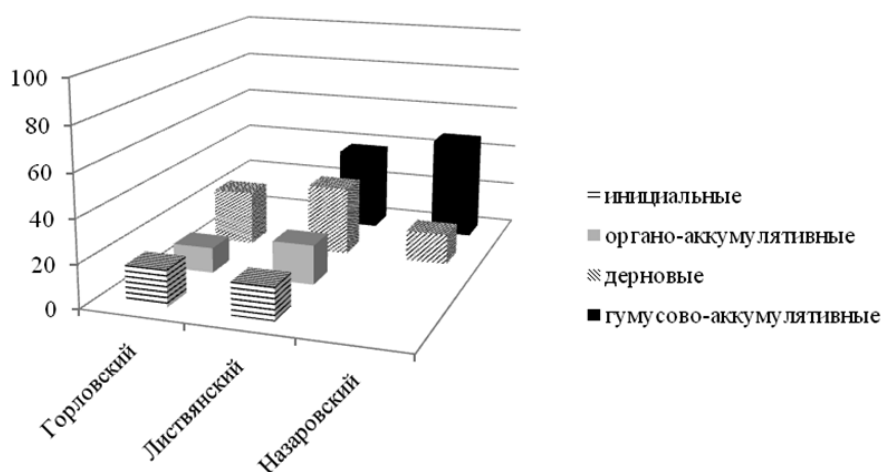


Рис. 3. Значения коэффициентов специфичности по содержанию педогенного углерода в слое 0–10 см исследуемых эмбриоземов

Таким образом, процедура расчета почвенно-экологического состояния техногенного ландшафта сводится по существу к количественной оценке тех свойств и режимов, которые определяют скорость и направленность протекания в этих ландшафтах почвообразовательных процессов. Статистический анализ данных показал значительные различия во вкладе в общее варьирование как разных коэффициентов специфичности, так и степени метаморфизации исходных почвообразующих пород, а также их взаимодействия. Оценивая вклад определяемых показателей в средний коэффициент специфичности, следует заметить, что в почвах, сформированных на плотных породах, определяющим условием в расчете коэффициента специфичности является содержание физической глины. Для этих почв $K_{с\text{ф.г.}}$ минимальны среди других коэффициентов. В почвах, сформированных на рыхлых осадочных отложениях, лимитирующим условием развития почвообразовательных процессов является содержание педогенного органического вещества. Для них минимальны $K_{с\text{Спед.}}$. Если принять во внимание современные представления о скорости гумусонакопления в черноземах

[33], становится понятным, что в данном случае на реализацию литогенного потенциала гумусонакопления не хватает времени.

В эволюционном ряду почв значения средних коэффициентов специфичности выстроились следующим образом: минимальными характеризуются инициальные и органоаккумулятивные эмбриоземы (от 25,3 до 29,1%), более высокие свойственны дерновым (от 32,3 до 58,7%) и гумусово-аккумулятивным эмбриоземам (от 46,1 до 68,8%) (рис. 4).

Общее почвенно-экологическое состояние рассматриваемых участков оценивалось с учетом соотношения площадей, занятых тем или иным типом почв, и рассчитывалось по формуле (6). Так, выражая почвенно-экологическое состояние как меру соответствия свойств базового компонента экосистем техногенных ландшафтов таковым зональных почв, приходим к выводу, что более благоприятным состоянием характеризуется участок отвала бурогоугольного разреза (рис. 5), средневзвешенный балл бонитета которого равен 66,6. Следующим в порядке убывания количества баллов является участок каменноугольного разреза (36,5 б.б.), за ним – участок отвала антрацитового месторождения (26,4 б.б.).

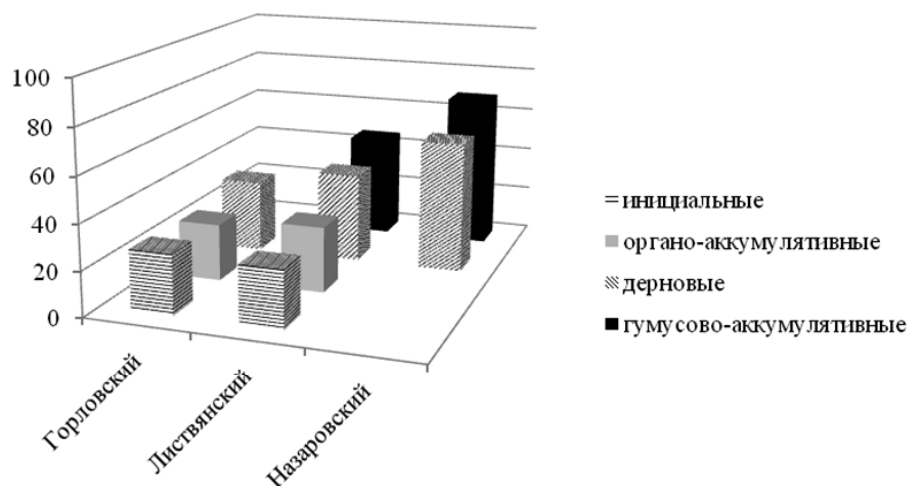


Рис. 4. Значения средних коэффициентов специфичности исследуемых почв

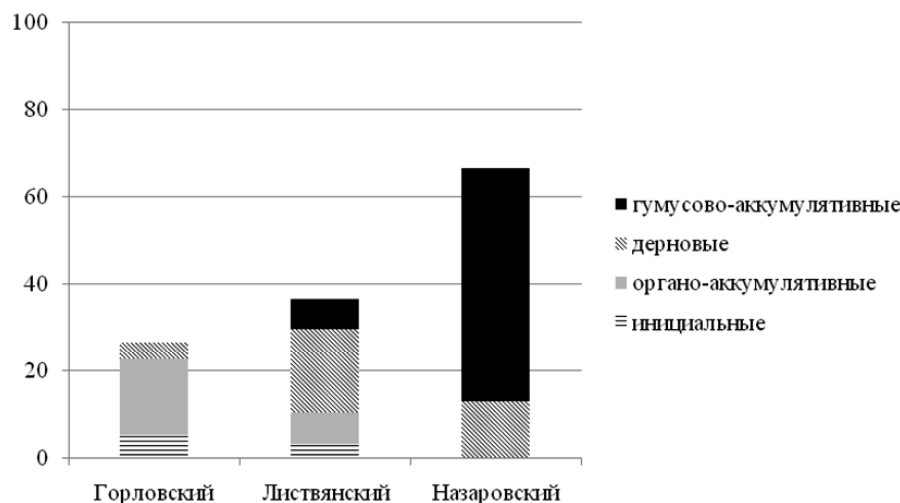


Рис. 5. Почвенно-экологическое состояние участков исследований

В заключение следует отметить, что предлагаемый для сравнения почвенно-экологического состояния подход позволяет также дать качественную оценку плодородия эмбриоземов и тем самым определить их место в шкале бонитета среди естественных почв и хозяйственную ценность.

ВЫВОДЫ

1. На поверхности техногенных ландшафтов, представленных отвалами антрацитовых, каменно- и буроугольных месторождений, происходит формирование мозаичного почвенного покрова, отражающего неоднородность экологических условий различных местообитаний. Наибольшей неоднородностью характеризуется участок отвала каменноугольного разреза, почвенный покров которого представлен всеми четырьмя стадиями почвообразования. Почвенно-экологическое со-

стояние этого участка определяется в пределах от неудовлетворительного до отличного. В меньшей степени неоднороден отвал антрацитового месторождения. Здесь почвенный покров включает представителей первых трех стадий почвообразования, а почвенно-экологическое состояние отмеченных на нем контуров варьирует от неудовлетворительного до удовлетворительного. Наиболее однороден почвенный покров отвала буроугольного разреза, в состав которого входят типы почв двух последних стадий почвообразования. Он характеризуется наиболее благоприятным почвенно-экологическим состоянием, от хорошего до отличного.

2. Исследуемые почвы соответствуют выщелоченным черноземам по содержанию тонкодисперсных фракций на 11,8–75,8%, по плотности сложения – на 46,1–83,3, по содержанию педогенного органического углерода – на 11,8–47,1%. При этом

степень соответствия рассматриваемых признаков, а следовательно, и почвенно-экологического состояния увеличивается в ряду от инициальных до гумусово-аккумулятивных эмбриоземов.

3. Основными условиями, лимитирующими восстановление почвенно-экологических функций в техногенных ландшафтах, являются содержание углерода педогенных органических веществ при почвообразовании на рыхлых отложениях и содержание тонкодисперсных фракций при почвообразовании на плотных породах.

4. Расчет средневзвешенных баллов бонитета почвенного покрова отвалов позволил установить, что наиболее благоприятным почвенно-экологическим состоянием характеризуется участок

буроугольного разреза (66,6 б.б.). Практически вдвое меньше средний балл бонитета на участках отвалов каменноугольного (36,5 б.б.) и антрацитового месторождения (26,4 б.б.).

5. Существует зависимость между степенью метаморфизации исходных пород отвалов, условиями почвообразования и почвенно-экологическим состоянием, складывающимся в процессе функционирования техногенного ландшафта. Чем выше степень метаморфизации почвообразующих пород, тем ниже скорость эволюции почвенного покрова и способность ландшафта к восстановлению своих почвенно-экологических функций.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 14-34-50522 мол_рф_нр

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Геоэкология* угледобывающих районов Кузбасса / В.П. Потапов [и др.]. – Новосибирск: Наука, 2005. – 660 с.
2. Тот Ш., Фехер А. Оценка почв рекультивированных территорий в Венгрии // *Почвоведение*. – 1991. – № 10. – С. 144–150.
3. Андроханов В. А. Курачев В. М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – 221 с.
4. Андроханов В. А., Курачев В. М. Принципы оценки почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов // *Сиб. экол. журн.* – 2009. – № 2. – С. 165–169.
5. Угольная база России. Т. II: Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны; месторождения Алтайского края и Республики Алтай). – М.: ООО «Геоинформцентр», 2003. – 604 с.
6. *Научно-прикладной справочник по климату СССР*. Вып. 20: Томская, Новосибирская, Кемеровская области, Алтайский край. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 720 с.
7. *Научно-прикладной справочник по климату СССР*. Вып. 21: Красноярский край, Тувинская АССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – Кн. 1. – 625 с.
8. *Почвы Новосибирской области* / Р.В. Ковалев [и др.]; под ред. Р.В. Ковалева. – Новосибирск, 1966. – С. 266.
9. Трофимов С. С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. – 300 с.
10. Бугаков П. С. Особенности почвенного покрова западной зоны КАТЭКа // *Почвы зоны КАТЭКа*. – Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1981. – С. 166–178.
11. *Экология и рекультивация техногенных ландшафтов* / И. М. Гаджиев [и др.]. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. – 305 с.
12. *Морфогенетическая диагностика процессов почвообразования на отвалах каменноугольных разрезов Сибири* / Д. А. Соколов [и др.] // *Почвоведение*. – 2015. – № 1. – С. 106–117.
13. *Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв* / Л. Л. Шишов [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1991. – 304 с.
14. Щербинин В. И. Принципы бонитировки почв Западной Сибири. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. – 118 с.
15. *Агрохимические методы исследования почв* / отв. ред. А. В. Соколов, Д. Л. Аскинази. – М., 1965. – 436 с.
16. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 488 с.
17. Вадюнина А. Ф. Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. – М.: Высш. шк., 1973. – 400 с.

18. Качинский Н. А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 192 с.
 19. Теории и методы физики почв / под ред. Е. В. Шеина, Л. О. Карпачевского. – М.: Гриф и К, 2007. – 616 с.
 20. Соколов Д. А. Специфика определения органических веществ педогенной природы в почвах техногенных ландшафтов Кузбасса // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. – 2012. – № 2. – С. 17–25.
 21. Гумусообразование в техногенных экосистемах / С. С. Трофимов [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1986. – 164 с.
 22. Тюрин И. В. Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии. Учение о почвенном гумусе. – М.: Сельхозгиз, 1937. – 287 с.
 23. Кононова М. М. Органическое вещество почвы. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 314 с.
 24. Угольная база России. Т. III: Угольные бассейны и месторождения Восточной Сибири (южная часть). – М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. – 488 с.
 25. Соколов Д. А. Окислительно-восстановительные процессы в почвах техногенных ландшафтов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2009. – 18 с.
 26. Госсен И. Н., Соколов Д. А. Оценка содержания гумуса в почвах рекультивированных отвалов угольных разрезов Кузбасса // Вестн. НГАУ. – 2014. – № 4. – С. 33–40.
 27. Комиссаров И. Д., Логинов Л. Ф. Структурная схема и моделирование макромолекул гуминовых кислот // Гуминовые препараты: науч. тр. Тюмен. СХИ. – 1971. – Т. 14. – С. 131–142.
 28. Артемьева З. С. Органическое вещество и гранулометрическая система почвы. – М.: ГЕОС, 2010. – 240 с.
 29. Гумификационные и негумификационные пути стабилизации органического вещества в почве (Обзор) / В. М. Семенов [и др.] // Почвоведение. – 2013. – № 4. – С. 393–407.
 30. Гуркова Е. А. Специфика внутренней структуры элементов кольцевой зональности почвенного покрова Центрально-Тувинской котловины // Вестн. Том. гос. ун-та. – 2009. – № 321. – С. 184–187.
 31. Соколов Д. А., Кулижский С. П. Сингенетичность формирования растительного покрова и окислительно-восстановительных систем в почвах отвалов каменноугольных разрезов // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. – 2013. – № 1 (21). – С. 22–29.
 32. Природно-техногенные комплексы Кузбасса: свойства и режимы функционирования / И. С. Семина [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. – 396 с.
 33. Лисецкий Ф. Н. Воспроизводство почв в степных экосистемах разного возраста // Сиб. экол. журн. – 2012. – № 6. – С. 819–829.
1. Potapov V. P., Mazikin V. P., Schastlivtsev E. L., Vashlaeva N. Yu. *Geoekologiya ugledobyvayushchikh rayonov Kuzbassa* [Geoeology of mining regions of the Kuzbass]. Novosibirsk: Nauka, 2005. 660 p.
 2. Tot Sh., Feher. A. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 10 (1991): 144–150.
 3. Androkhanov V. A., Kurachev V. M. *Pochvenno-ekologicheskoe sostoyanie tekhnogennykh landshaftov: dinamika i otsenka* [Soil-ecological state of technogenic landscapes: dynamics and evaluation]. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publishing House, 2010. 224 p.
 4. Androkhanov V. A., Kurachev V. M. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, no. 2 (2009): 165–169.
 5. *Ugol'naya basa Rossii. T. II: Ugolnye bassejny i mestoroshdeniya Vostochnoj Sibiri (jushnaja chastj)* [The coal base of Russia. T. II: Coal basins and deposits of Eastern Siberia]. Moscow: ООО «Геоинформцентр», 2002. 488 p.
 6. *Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Vyp. 20: Tomskaja, Novosibirskaja, Kemerovskaja oblasti, Altajskij kraj* [Scientific-applied Handbook on the USSR climate. Edition 20]. Sankt-Peterburg: Gidrometeoizdat, 1993. 720 p.
 7. *Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Vyp. 21. Krasnojarskij kraj, Tuvinskaja ASSR* [Scientific-applied Handbook on the USSR climate. Edition 21]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990. 625 p.
 8. Kovalev R. V. i dr. *Pochvy Novosibirskoi oblasti* [The soil of the Novosibirsk region]. Novosibirsk, 1966. pp. 266.

9. Trofimov S.S. *Ekologiya pochv i pochvennye resursy Kemerovskoy oblasti* [Soil ecology and soil resources of the Kemerovo region]. Novosibirsk: Nauka, 1975. 300 p.
10. Bugakov P.S. *Osobennosti pochvennogo pokrova sapadnoi soni KATEKa* [Features of the soil cover of the Western zone of KATEK]. Krasnojarsk: ILiD SO AN SSSR, 1981. pp. 166–178.
11. Gadzhiev I.M. i dr. *Ekologiya i rekul'tivatsiya tekhnogennykh landshaftov* [Ecology and reclamation of technogenic landscapes]. Novosibirsk: Nauka, Siberian branch Publishing House; 1992. 305 p.
12. Sokolov D.A., Androkhonov V.A., Kulizskiy S.P., Domozhakova E.A., Loiko S.V. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 1 (2015): 106–117.
13. Shishov L.L. at al. *Teoreticheskie osnovy i puti regulirovaniya plodorodija pochv* [Theoretical foundations and ways of regulation of fertility of soils]. Moscow: Agropromizdat, 1991. 304 p.
14. Sherbinin V.I. *Prinzipy bonitirovki pochv Sapadnoj Sibiri* [The principles of soil evaluation in Western Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 1985. 118 p.
15. *Agrohemicheskie metody issledovaniya pochv* [Agrochemical methods of soil investigation]. Otv. red. A.V. Sokolov, D.L. Askinasi. Moscow, 1965. 436 p.
16. Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv* [Manual on chemical analysis of soils]. Moscow: Isd-vo MGU, 1970. 488 p.
17. Vadjunina A.F., Korchagina Z.A. *Metodi issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv i gruntov* [Methods of studying the physical properties of the soil]. Moscow: Visshaya shkola, 1973. 400 p.
18. Kachinskij N.A. *Mekhanicheskij i mikroagregatnij sostav pochvi, metodi ego izuscheniya* [Microaggregate and mechanical composition of the soil, methods of its study]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1958. 192 p.
19. *Teorii i metody fiziki pochv* [Theory and methods of soil physics]. Pod red. E. V. Sheina, L. O. Karpachevskogo. Moscow: Griff K, 2007. 616 p.
20. Sokolov D.A. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Tomsk state university Journal], no. 2 (2012): 17–25.
21. Trofimov S.S. i dr. *Gumusoobrazovanie v tehnoennykh ekosistemah* [The humus in man-made ecosystems]. Novosibirsk: Nauka, 1986. 164 p.
22. Tjurin I.V. *Organicheskoe veshstvo pochvi ego rol' v pochvoobrasovanii i plodorodii. Uchenie o pochvennom gumuse* [The soil's organic matter and its role in soil formation and fertility. The doctrine of humus]. Moscow: Seljhosgis, 1937. 287 p.
23. Kononova M.M. *Organicheskoe veshstvo pochvy* [Soil organic matter]. Moscow: Isd. AN SSSR. 1963. 314 p.
24. *Ugol'naya baza Rossii. Tom III: Ugolnye bassejny i mestoroshdeniya Sapadnoj Sibiri (Kusnezskij, Gorlovskij, Sapadno-Sibirskij bassejny; mestoroshdeniya Altajskogo kraja i Respubliki Altaj)* [The coal base of Russia. T. III: Coal basins and deposits of Western Siberia]. Moscow: OOO «Geoinformzentr». 2003. 604 p.
25. Sokolov D.A. *Okislitel'no-vosstanovitel'nyye prozessy v pochvah tehnoennykh landshaftov* [Abstract of dissertation]. Novosibirsk, 2009. 18 p.
26. Gossen I.N., Sokolov D.A. *Vestnik NGAU* [Bulletin of NSAU], no. 4 (2014): 33–40.
27. Komisarov I.D., Loginov L.F. *Guminovye preparaty: nauchnye trudy Tjumenskogo SHI*, T. 14 (1971): 131–142.
28. Artemjeva Z.S. *Organicheskoe veshstvo i granulometricheskaja sistema pochv* [Organic matter and particle size distribution of the soil system]. Moscow: GEOS, 2010. 240 p.
29. Semenov V.M., Tulina A.S., Semenova N.A., Ivannikova L.A. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 4 (2013): 393–407.
30. Gurkova E.A. Specificity of internal structure of ringzonalities' elements of soil cover in the Central-Tuva hollow. Tomsk State University Journal. 2009. № 321. P. 184–187. In Russian
31. Sokolov D.A., Kulizskiy S.P. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Tomsk state university Journal], no. 1 (21) (2013): 22–29.
32. Semina I.S., Belanov I.P., Shipilova A.M., Androkhonov V.A. *Prirodno-tekhnogennye komplekсы Kuzbassa: svoystva i rezhimy funkcionirovaniya* [Natural and industrial complexes of Kuzbass: properties and modes of operation]. Novosibirsk: Nauka, Siberian branch Publishing House, 2013. 396 p.
33. Lisetskii F.N. *Sibirskiy ekologicheskij zhurnal*, no. 6 (2012): 819–829.

APPRAISING APPROACH TO THE EVALUATION OF SOIL AND ECOLOGICAL
SITUATION OF TECHNOGENIC LANDSCAPES OF SIBERIA (ANTHRACITE MINES,
BROWN COAL FIELDS)

Hossen I.N., Kulizhsky S.P., Danilova E.B., Sokolov D.A.

Key words: embryozems, surface coal mines, soil density, concentration of finely dispersed fractions, carbon of pedogenic organic substances, ball-bonitet

Abstract The article explores the evaluation of factors that restrict the recovery rate of soil in technogenic landscapes that are represented by Siberian anthracite mines and brown coal fields aged 30 years. Regardless similar climate condition, the soil status is not the same at the observed banks. This is revealed in the formation of mosaic soil that shows different environmental conditions of the fields. The authors point out that the main conditions that restrict the recovery of soil and environmental functions in technogenic landscapes are carbon pedogenic organic substances in soil formation on the soft sediments and concentration of finely dispersed fractions on the dense rocks. The authors calculated ball-bonitet of the investigated soil and plots on the basis of quantitative evaluation of soil properties. The article shows the relation between the degree of metamorphization of initial rocks and conditions of soil formation and soil and environmental condition that take place in technogenic landscape.

УДК 631.4:631.95

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛОЖЕНИЯ ЦИАНТРАНИЛИПРОЛА
В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

В. Н. Колупаева, кандидат биологических наук

В. С. Горбатов, кандидат биологических наук

И. В. Нюхина, инженер

Всероссийский НИИ фитопатологии

E-mail: v.kolupaeva@vniif.ru

Ключевые слова: пестициды, разложение, период полураспада, почва, грунтовые воды, уравнения аппроксимации динамики разложения, математические модели поведения пестицидов, стандартные сценарии входных данных

Реферат. Изучено разложение циантринилипрола в дерново-подзолистой почве в контролируемых лабораторных условиях. Кривая динамики деградации инсектицида, полученная в эксперименте, свидетельствует о двухступенчатом характере процесса – быстрое разложение сразу после внесения циантринилипрола сменяется заметным замедлением скорости. Использование уравнений Густавсона и Хольдена и биэкспоненциального значительно повышает точность описания динамики разложения по сравнению с экспоненциальной зависимостью, о чем свидетельствуют значения статистических параметров. Моделирование поведения циантринилипрола в условиях Московской области с помощью компьютерной модели PEARL и стандартных сценариев входных данных сельскохозяйственных регионов РФ показало, что пестицид способен мигрировать в грунтовые воды, прогнозные концентрации в стоке составили от 0,33 до 15,69 мкг/л в зависимости от способа описания деградации и длительности применения пестицида. Эта работа показала, что когда разложение отличается от кинетики первого порядка, использование нелинейных уравнений деградации является важным для прогноза остаточных количеств пестицидов в почвах и грунтовых водах. Использование биэкспоненциального уравнения для описания разложения циантринилипрола приводило к повышению расчетных концентраций в водном стоке на глубине 1 м и в почве в 8–10 и в 1,5–3 раза соответственно.