



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ МИГРАЦИИ
ИМИДАКЛОПРИДА
В ПОЧВЕ БОЛЬШИХ ЛИЗИМЕТРОВ

К.б.н., с.н.с. Кокорева А.А., к.б.н.^{1,2}, н.с. Белик А.А.²
1 Факультет почвоведения МГУ
2 ВНИИ Фитопатологии

Модели движения пестицидов используются все больше и больше для решения вопросов, касающихся санкционирования использования пестицидов и регистрации пестицидов на уровне Европейского Союза и в США.

Целый список журналов публикует статьи, в которых освещена проблема моделирования движения пестицидов

Список моделей, которые используются, а также официально рекомендованы к использованию ЕС и США, постоянно растет

AgFit	(pages have been removed)
AgriFlux	Chemical Movement in Layered Soils (pages have been removed)
CMLS96 or CMLS94	
EPIC	Erosion Productivity Impact Calculator
EXAMS	Exposure Analysis Modeling System
FIRST	Fapa Index Reservoir Screening Tool
GENEFO	GENERIC Estimate Exposure Concentration
GLEAMS	Groundwater Leaching Effects of Agricultural Management Systems (go to the Models section)
HYDRUS HYDRUS-1D HYDRUS-2D HYDRUS-2D	
LEACHM/LEACHP	Leaching Estimation And Chemistry Model (includes LEACHP, the pesticide version of the model)
MACRO MACRO (FOCUS GW) MACRO (FOCUS SW)	
MACRO_DB	
OPUS	
PEARL PEARL (FOCUS GW)	Pesticide Emission Assessment at Regional and Local scales
PELEP/ISS	PESticide Leaching Estimator and Predictor - Decision Support System
PELMO (FOCUS GW)	PESticide Leaching Model
PESTLA	PESticide Leaching and Accumulation
PESTRAS	PESticide TRANsport aSsessment
PRZM (EPA) PRZM (FOCUS GW) PRZM (FOCUS SW)	Pesticide Root Zone Model
ROWM	Root Zone Water Quality Model
SCIGROW	Screening Concentration in Ground Water
SIMULAT	
SWAT	Soil and Water Assessment Tool (first link: go to the Products section)
TOXSWA TOXSWA (FOCUS SW)	TOXic Substances in Surface Waters
WAVE	Water and Agrochemicals in the soil, crop and Vadose Environment

Agricultural Ecosystems and Environment
Agronomy
Biology and Fertility of Soils
Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology
Chemosphere
Ecological Modelling
Environmental Pollution
Environmental Science and Technology
Environmental Toxicology and Chemistry
Journal of Contaminant Hydrology
Journal of Environmental Quality
Journal of Hydrology
Journal of Irrigation and Drainage Engineering
Nature
Pest Management Science (formerly Pesticide Science)
The Science of the Total Environment
Soil and Tillage Research
Soil Biology and Biochemistry
Soil Science
Soil Science Society of America Journal
Soil Use and Management
Transactions of the ASAE
Vadose Zone Journal
Water, Air and Soil Pollution
Water Research
Water Resources Research
Water Science and Technology
Weed Research
Weed science

PESTICIDES

One of the most commonly used elements of the nature of a pesticide is the LD₅₀, the dose of the chemical that will kill 50 percent of a population of test animals. Proponents of pesticide use often use the LD₅₀ to state that a pesticide is less toxic than aspirin or table salt.

There are several important things to keep in mind when evaluating such statements. First, LD₅₀ measures only the dose that causes death immediately. They don't include many serious health problems. The ability to cause cancer, birth defects, or neurotoxic effects, for example, is not measured by the LD₅₀. Individual differences in susceptibility are not considered. LD₅₀ does not measure the dose that kills the first animal, or ten percent of the animals. In addition, humans might be more sensitive to the pesticide than the test species. LD₅₀s are based on only one route of exposure (most commonly eating the pesticide) and don't consider the multiple ways in which people are exposed to pesticides. We can drink or bathe in contaminated water, for example, or be exposed through our skin, or breathe contaminated air.

Writing about these kinds of comparisons, New York's attorney general stated, "This type of comparison is generally based on so many simplifying and limiting assumptions as to be meaningless."¹ As consumers, and as residents in areas where pesticides are used, we are entitled to more useful and less misleading information.

1. Abrams, B. 1987. Lawn care pesticides: A guide for action. Albany, NY: State of New York Dept. of Law.

PESTICIDES AND REGENERATION

EPA is in the process of reevaluating (re-registering) all older pesticides in order to bring their health and safety status to current standards. However, even pesticides that have completed the process pose significant hazards to human and environmental health.

Allyl, Congress appropriated \$10 million dollars to help pay for testing "minor use" pesticides.¹¹ In simple terms, these pesticides receive only overnight taxpayer subsidies.

Flaws in Reregistration

Even when reregistration for a pesticide is complete, there is no assurance that the pesticide is "safe" in the common-sense meaning of the term. A few examples from recent reregistrations show that pesticides are reregistered in spite of clear evidence of hazards.

The herbicide metolachlor was reregistered in 1996.¹² It is the second most widely used herbicide in U.S. agriculture.¹³ EPA classified it as a "possible human carcinogen." It has adversely affected the growth and development of prehistoric fish at concentrations close to 1 part per million. It has been found in the groundwater in 20 states, and is among the top five pesticides detected in surface and drinking water in the Midwest.¹⁴

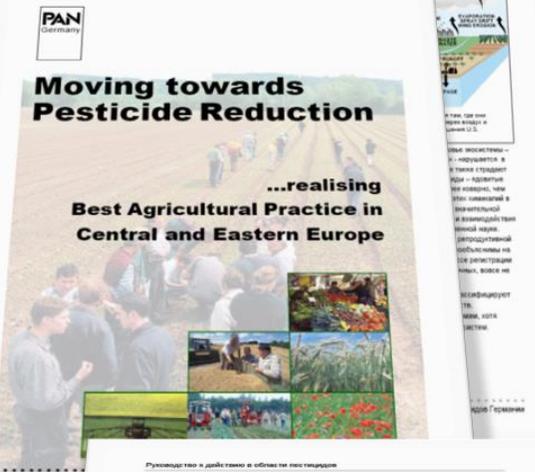
Chlorophen, reregistered in 1996, is a sprout inhibitor used on about 60 percent of the potatoes eaten in the U.S. In laboratory studies, it caused anemia in both dogs and rats. In pregnant rabbits, chlorophen

cannot feed loss. The average child's daily diet is contaminated with between 87 and 231 percent (depending on what assumptions are made) of what EPA believes is an acceptable amount of chlorophen.¹⁵

The organo-chlorine insecticide heptachlor was reregistered in 1992 although Hesseb years previously EPA had negotiated cancellation of almost all registered uses because of its "documented carcinogenic and developmental effects in mice and rats, as well as its persistence in the soil for many years and bioaccumulation throughout the food chain."¹⁶

EPA's Ecological Effects Branch (EEB) characterized the herbicide glyphosate as having "extreme phytotoxicity."¹⁷ EEB also noted that it had significant persistence under typical conditions, and "extreme propensity to leach into groundwater."¹⁸ Both EEB and the Environmental Effects and Groundwater Branch recommended against the reregistration of glyphosate.^{19,20} However, the reregistration process was completed in 1994, with only a few requests for additional data.²¹

The herbicide bromoxynil was reregistered in 1998. It causes liver cancer in laboratory animals. In addition



PESTICIDES AND REGENERATION

Общие сведения о применении пестицидов

Данные указывают на то, что в Европе в настоящее время используется в среднем 2000 тонн пестицидов на гектар. Удельный расход был в три раза выше в 1980-е годы. В настоящее время в Европе используется в среднем 10 тонн пестицидов на гектар.

В работе для различных культур используются различные методы обработки почвы. Штрафы накладываются на использование пестицидов для обработки почвы, а также на использование пестицидов для обработки почвы. В настоящее время в Европе используется в среднем 10 тонн пестицидов на гектар.

Только в последние годы в Европе наблюдается тенденция к снижению использования пестицидов. В зависимости от состояния погоды, освещенности, силы ветра, температуры, влажности и т.д. пестициды могут подвергаться различным потерям. В результате их эффективность снижается, а это приводит к увеличению расхода пестицидов. При разработке пестицидов во внешней среде учитываются различные факторы, такие как температура, влажность и т.д. В результате пестициды становятся более устойчивыми и более эффективными.

Важными компонентами являются, конечно, не пестициды, а удобрения, гербициды и конкуренты, только пестициды.

PESTICIDES AND REGENERATION

PESTICIDES AND REGENERATION

СХЕМА ЛИЗИМЕТРИЧЕСКОГО ОПЫТА

Измерение влажности почвы нейтронным влагомером и термостатно-весовым методом:
глубины 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 45-50, 75-80



Апах (0-20)

A2 (20-35)

B1 (35-60)

B2 (60-80)

B3 (80-150)

песок кварцевый

мелкий гравий
крупный гравий

Анализ остаточных количеств имidakлоприда в почве:
глубины 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45, 45-50
сутки 7, 14, 28, 56, 82, 300



Анализ содержания имidakлоприда в стоке из лизиметров:



2005 год – 5 лизиметр – проверка настройки
2006 год – 5,6 лизиметры – проверка настройки
2007 год – 6 лизиметр – настройка моделей

Регистрация лизиметрического стока



Физически обоснованные математические модели миграции пестицидов

хроматографические потоковые модели (ХП)

основываются на дифференциальном конвективно-диффузионном уравнении переноса веществ в почве без учета наличия в почве макропор, трещин и пр.

PEARL 3.3.3

пестициды
ядохимикаты



Быстрый проскок веществ вследствие, прежде всего, движения веществ с преимущественными потоками

реки, колодцы,
грунтовые воды

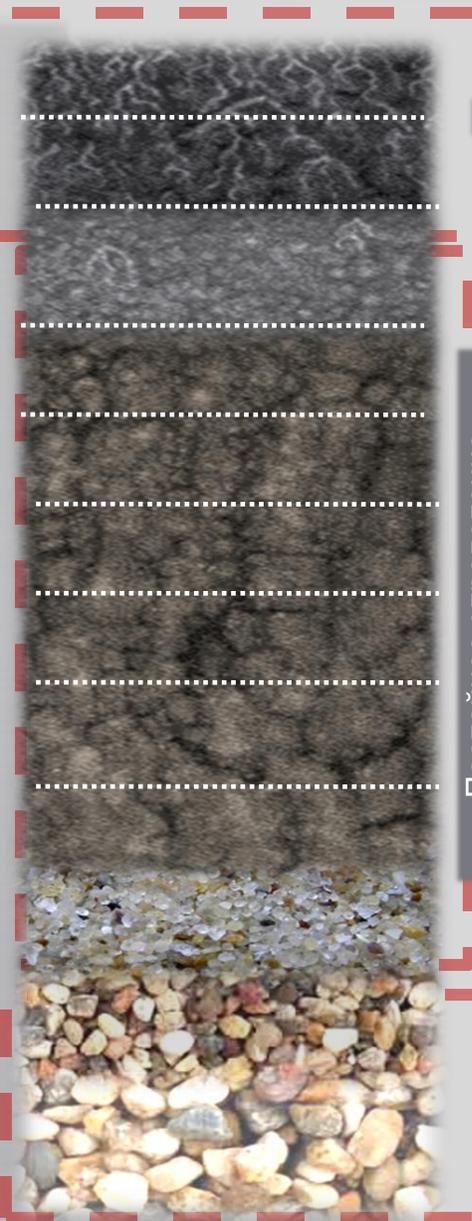
модели избирательных (предпочтительных) потоков (ПП)

учитывающие наличие в почве возникающих вследствие трещин набухания усадки, формирования межпедных трещин, макропор различного происхождения

MACRO 5.1

Функционирование моделей возможно только при:

Точное задание верхней и нижней границ
Разделение почвенной толщи на конкретные слои



Верхняя граница

- Ежедневные метеоданные
- Задание обработки, полива, культуры

Послойное определение экспериментальной толщи

Физическо-химические свойства почвы (по слоям), полученные экспериментально, необходимые для моделирования:

- Гранулометрический состав почвы
- Содержание органического вещества
- pH
- Плотность
- Коэффициент фильтрации
- Параметры аппроксимации ОГХ уравнением ван Генухтена ($\theta_s, \theta_r, n, \alpha$)

Нижняя граница

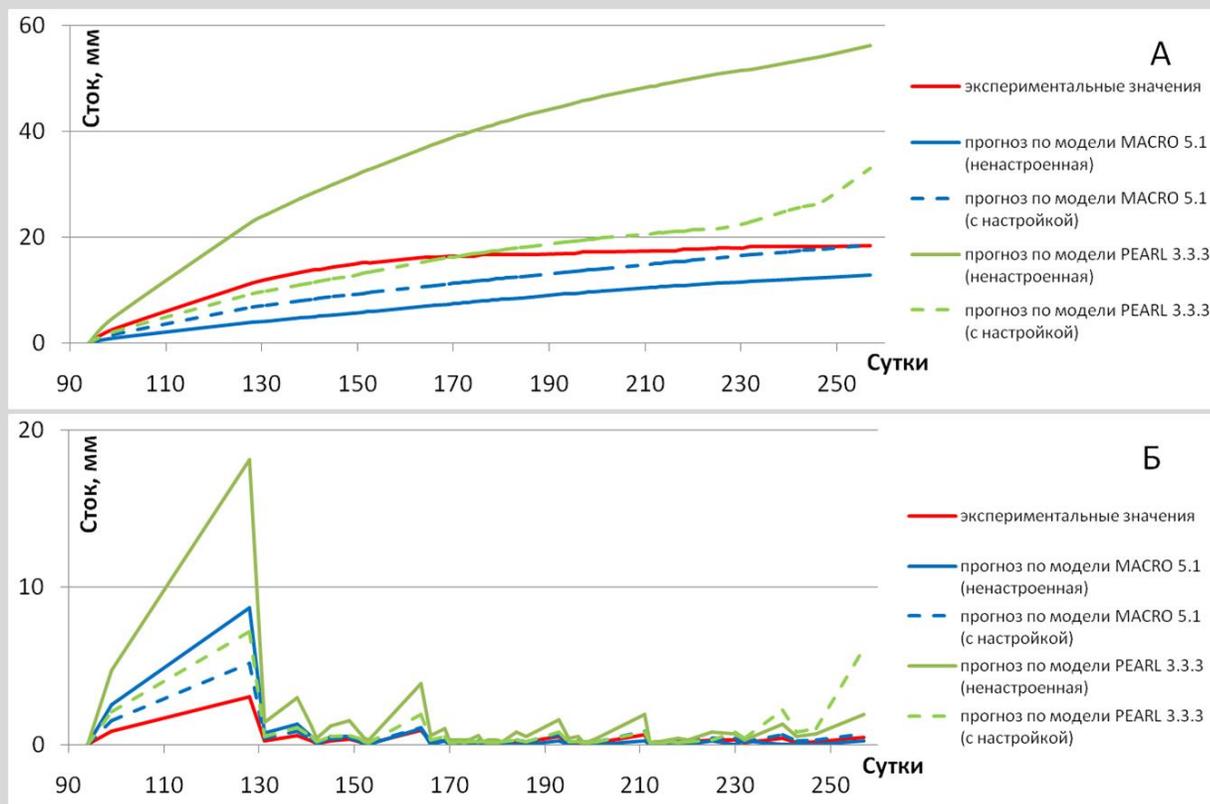
Точность прогноза моделей есть функция правильного задания граничных условий и точности определения входных параметров (экспериментального обеспечения)

В качестве примера:

Основные гидрофизические параметры (параметры аппроксимации ОГХ по ван Генухтену) для лизиметра №5 Почвенного стационара

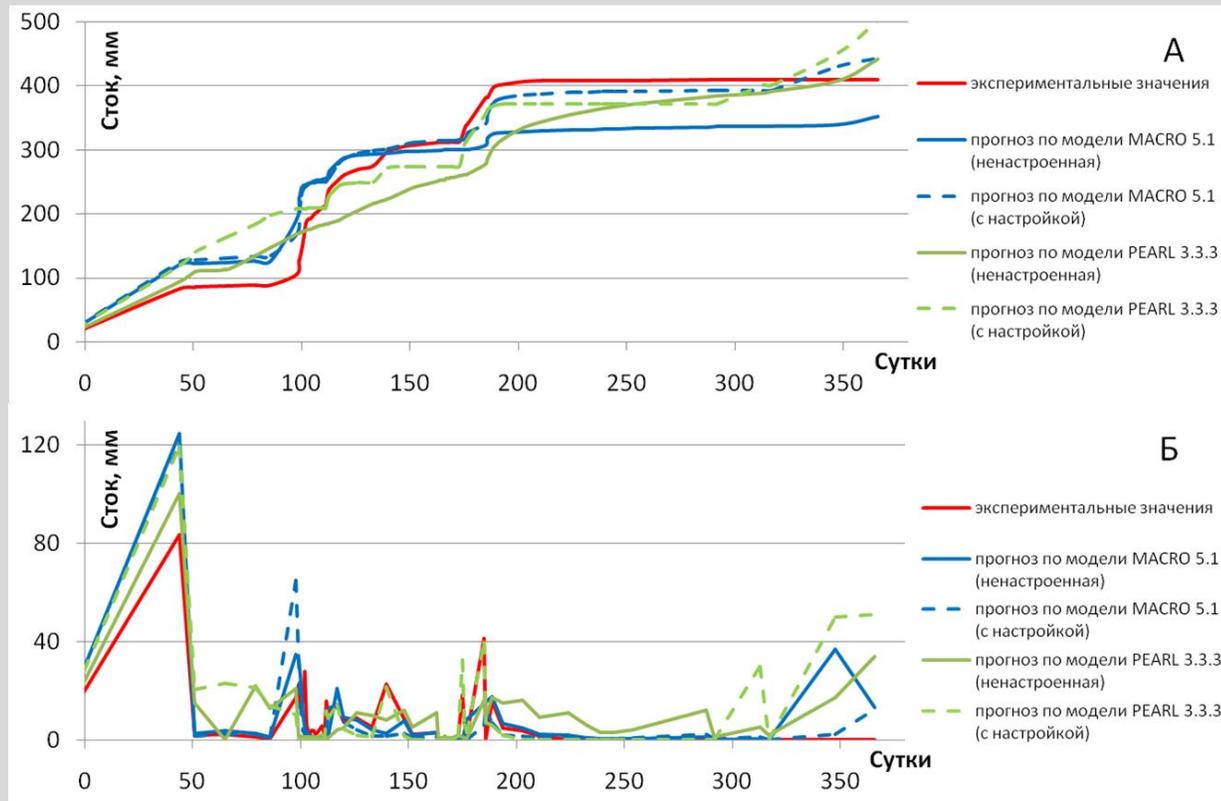
Слой, см	$Q_r, \text{cm}^3/\text{cm}^3$	$Q_s, \text{cm}^3/\text{cm}^3$	n	α, cm^{-1}
Апах	0,0010	0,5335	1,5012	0,0051
Е	0,0010	0,4013	1,6934	0,0052
В1	0,0010	0,3665	1,5652	0,0087
В2	0,0010	0,3528	1,5714	0,0072
В3	0,0010	0,3129	1,5662	0,0076

Экспериментальные динамики интегрального (А) и дифференциального (Б) лизиметрического стока в 2007 году и прогнозы по моделям

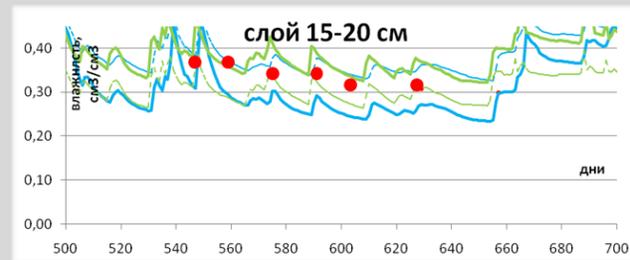
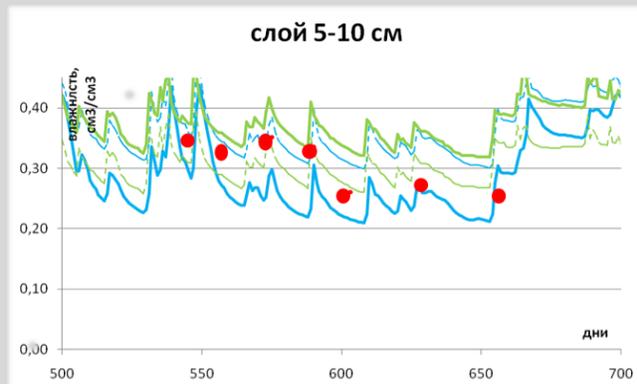


Получаемая экспериментальная информация отлична от моделируемой ситуации по своему масштабу: экспериментальные ОГХ получены на небольших образцах (около 5 см³), моделируемые же условия имеют масштаб почвенного профиля. Это вызывает ошибки моделирования, которые могут быть снижены только за счет операции настройки модели.

Экспериментальные динамики интегрального (А) и дифференциального (Б) лизиметрического стока в 2007 году и прогнозы по моделям

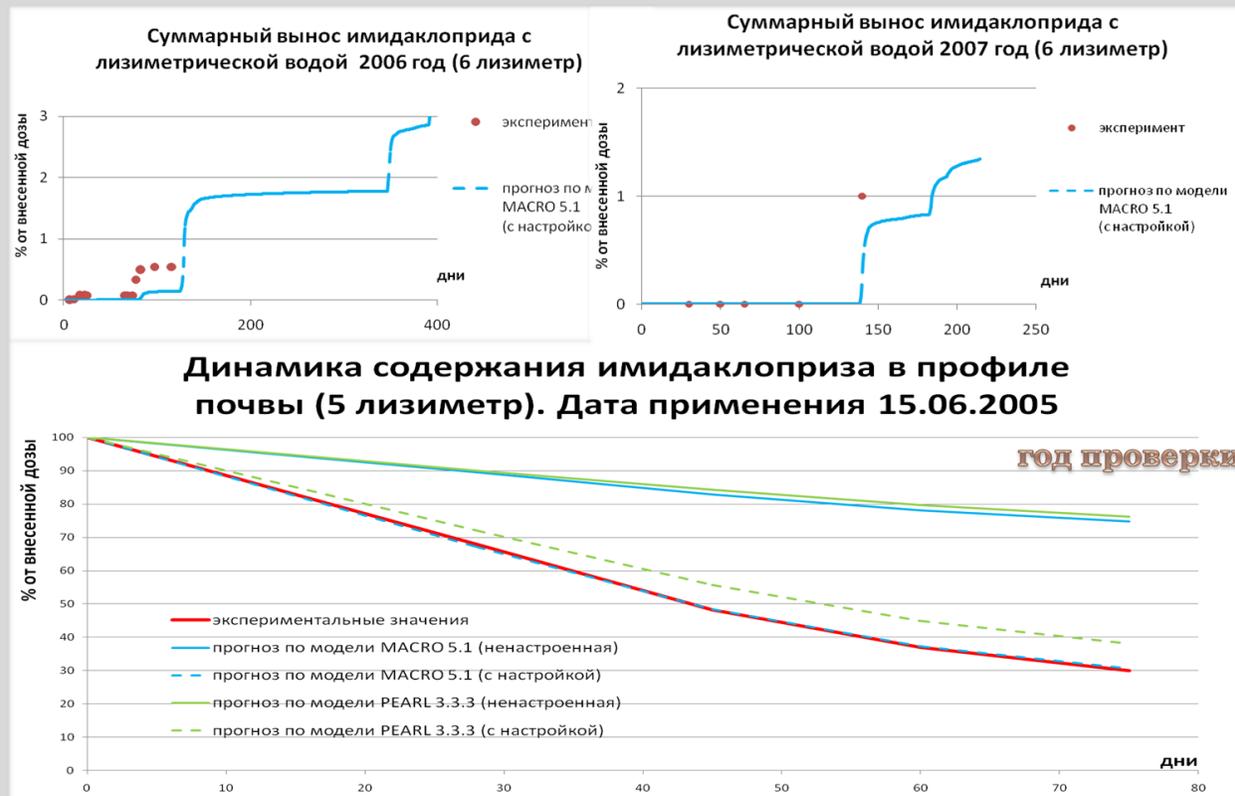


Динамика влажности за период 29.06.2005 – 18.10.2005 (нумерация дней от 01.01.2004)

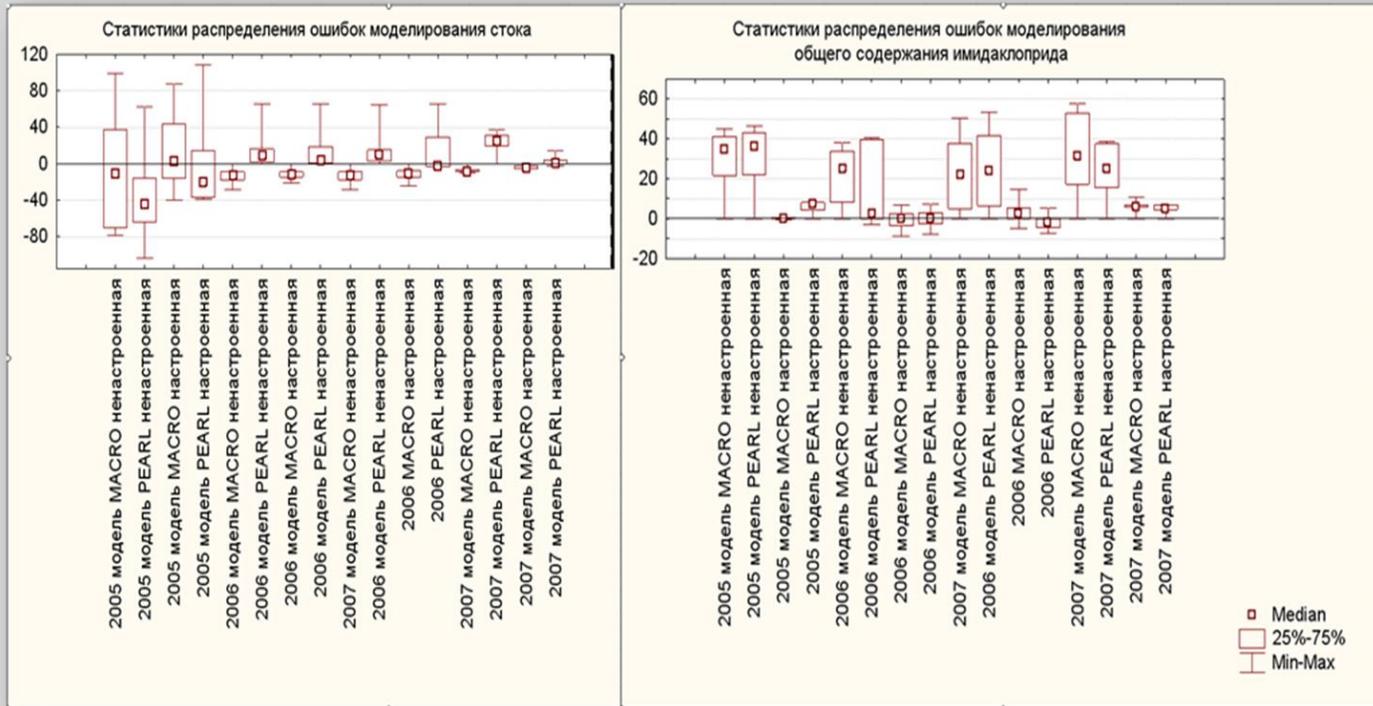


- экспериментальные значения
- прогноз по модели MACRO 5.1 (ненастроенная)
- - - прогноз по модели MACRO 5.1 (с настройкой)
- прогноз по модели PEARL 3.3.3 (ненастроенная)
- - - прогноз по модели PEARL 3.3.3 (с настройкой)

Динамика остаточных количеств имidakлоприда в почвах лизиметров



медианы, квартили и разброс погрешностей моделирования моделями MACRO 5.1 и PEARL 3.3.3 (без настройки и с настройкой) для 2005, 2006 и 2007 годов



Сравнение работы моделей по критерию Вильямса-Клюта

2007 год		Лизиметр №6				
показатели для сравнения моделей	ненастр. модели		лучшая модель	настр. модели		лучшая модель
	b	t-критерий		b	t-критерий	
сток интергальный	-0.54	-27.71	MACRO	-1.31	-37.52	MACRO
сток дифференциальный	-0.31	-8.08	MACRO	-1.62	-19.91	MACRO
влажность в слое 0-5 см	-1.15	-4.06	MACRO	0.43	2.15	PEARL
влажность в слое 5-10 см	-3.13	-7.07	MACRO	1.98	6.91	PEARL
имидаклоприд в профиле	5.59	8.82	PEARL	-0.54	-9.74	MACRO
имидаклоприд в слое 0-10 см	25.95	3.69	PEARL	25.95	3.69	PEARL
имидаклоприд в слое 10-20 см	-4.66	-0.23	равны	-1.62	-3.69	MACRO

при уровне значимости 0,1 с прогнозом без настройки лучше справлялась модель MACRO 5.1. При настройке моделей, PEARL 3.3.3 некоторые пункты списка предсказывала лучше, но с прогнозом по ключевым параметрам MACRO 5.1 тем не менее справилась лучше.

- С помощью прогноза моделей возможно предсказать опасность применения пестицида, того или иного класса опасности, как для предварительной оценки возможности загрязнения пестицидами окружающей среды, так и для расчета времени принятия мер борьбы при контролируемом внесении пестицидов.
- Экспериментально определены гидрофизические и химические свойства, элементы водного режима дерново-подзолистых почв лизиметров Почвенного стационара МГУ и входные гидрофизические параметры математических моделей MACRO и PEARL. Проведена апробация моделей, учитывающих наличие в почве преимущественных потоков (MACRO 5.1), и хроматографических потоковых моделей (PEARL 3.3.3) для прогноза водного режима дерново-подзолистой почвы и миграции имидаклоприда. Оценка чувствительности моделей показала, что наибольшее влияние на выходную переменную состояние (лизиметрический сток) оказывают параметры уравнения Ван Генухтена, используемые для аппроксимации основной гидрофизической характеристики (ОГХ).
- Количество имидаклоприда в почвенной толще к концу вегетационного сезона составляло 20-30% от внесенной дозы, а миграционный путь инсектицида был ограничен 40-50 см с максимумом в верхнем 10-ти сантиметровом слое. Лизиметрические исследования водного режима среднесуглинистой дерново-подзолистой почвы и характера распределения имидаклоприда в ней показали возможность его передвижения с преимущественными потоками по макропорам почвы и его проникновения в грунтовые воды (до 1.2 % от внесенного количества), что изначально предполагало большую эффективность моделей с учетом преимущественных потоков для описания этих процессов.
- Сравнение прогнозной и экспериментальной динамики содержания имидаклоприда в почвах показало, что в целом модели идентично предсказывали остаточные количества инсектицида в почвенной толще. Однако модель MACRO количественно более точно прогнозировала профильное распределение имидаклоприда и его попадание в лизиметрические воды. Сравнение моделей по критерию Вильямса-Клюта подтвердило, что прогноз модели MACRO по ключевым параметрам моделирования более точен. Таким образом, для оценки опасности пестицидов для окружающей среды и возможности его проникновения в грунтовые воды предпочтительнее использовать физически обоснованные модели, учитывающие преимущественные потоки в почве.