

ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРЕЧНЯ ПЕСТИЦИДОВ ДЛЯ ИХ МОНИТОРИНГА В ГРУНТОВЫХ ВОДАХ

В.Н. Колупаева

ФГБНУ ВНИИ фитопатологии,
РФ, 143050, Московская обл., Одинцовский р-н, р. п. Большие Вяземы, ул. Институт, стр. 5;
v.kolupaeva@vniif.ru

Реферат. В настоящее время список пестицидов, по которым Росгидромет проводит мониторинг, состоит из 23 соединений, среди которых только семь разрешены для применения в России и входят в “Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов”. Предложена пошаговая расчетная процедура для формирования приоритетного перечня пестицидов, подлежащих мониторингу в грунтовых водах. Для этого с помощью модели PEARL определяются прогнозные концентрации пестицидов в стоке грунтовых вод на глубине одного метра и проводится оценка риска миграции пестицидов в грунтовые воды (по величине прогнозной концентрации), оценка риска для млекопитающих (путем сравнения прогнозных концентраций с ПДК) и водных организмов (сравнивая с токсичностью для гидробионтов). По результатам расчетов в список вошло 47 пестицидов из 180-ти, разрешенных к применению в РФ. Сформулированы основные принципы определения перечня пестицидов, содержание которых необходимо контролировать в грунтовых водах: избирательный, комплексный, риск-ориентированный, пошаговый, региональный подход. Основной целью мониторинга пестицидов в грунтовых водах предлагается считать выработку управленческих решений для снижения неблагоприятного воздействия на грунтовые воды.

Ключевые слова. Пестициды, грунтовые воды, мониторинг, математическая модель, стандартные сценарии, риск, предельная допустимая концентрация, токсичность.

FORMATION OF THE PESTICIDES LIST FOR THEIR MONITORING IN GROUND WATERS

V.N. Kolupaeva

Research Institute of Phytopathology,
5, Institute str., 143050, Bolshye Vyazemy, Moscow region, Russia; *v.kolupaeva@vniif.ru*

Abstract. Currently, the list of pesticides for monitoring consists of 23 compounds, among which only seven are allowed for use in Russia and are

included in the "State Catalog of Pesticides and Agrochemicals." A step-by-step calculation procedure is proposed for the formation of a priority list of pesticides for monitoring in groundwater. For this the predicted concentrations of pesticides in groundwater leachate at one-meter depth were determined using the model PEARL, and the risk of pesticide migration to groundwater was estimated by the predicted concentration value, the risk for mammals was evaluated by comparing predicted concentrations with human toxicological criteria, and the risk for aquatic organisms was assessed comparing with the toxicity for hydrobionts (EC50 or NOEC). According to the results of calculations, 47 pesticides from 180 allowed to be used in the Russian Federation were included in the list. The main principles for determining the list of pesticides for monitoring in groundwater are formulated: selective, comprehensive, risk-oriented, step-by-step, regional approach. The main goal of pesticide monitoring in groundwater is to consider the development of management decisions to reduce the adverse impact on groundwater.

Keywords. Pesticides, groundwater, monitoring, mathematical model, standard scenarios, risk, human toxicological criteria, toxicity.

Введение

Современное сельское хозяйство невозможно без использования средств защиты растений. Сегодня общие потери от вредителей и болезней достигают 28% урожая, и только применение средств защиты растений от болезней, сорняков и вредителей позволяет получить хороший урожай и сохранить его (Мерзликин, 2009). Применение пестицидов в РФ растет. По данным Россельхозцентра в 2014 году в Российской Федерации было применено 55.80 тыс. тонн пестицидов. Пестицидная нагрузка в 2014 году составила 0.484 кг/га пашни (по препарату) и 0.19 кг/га по д. в., что на 31% больше, чем в 2010 году (Михайликова и др., 2015). Помимо ожидаемого эффекта защиты от вредителей, болезней и сорняков, применение пестицидов нередко оказывает неблагоприятное воздействие на окружающую среду и нецелевые организмы. В частности, многочисленные исследования свидетельствуют об обнаружении остатков пестицидов в грунтовых водах по всему земному шару (Fava et al., 2010; Akesson et al., 2015; Tornquist et al., 2007; Albanis et al., 1998; Haarstad, 2007; Thodal et al., 2008).

По результатам мониторинговых исследований, проводимых за рубежом, чаще всего в грунтовых водах в концентрациях выше 0.1 мкг/л обнаруживаются атразин, бентазон, симазин, С-метолахлор, изопротурон, алахлор, МЦПА, диурон, тербутилазин, имидаклоприд, клопиралид, глифосат, диметоат, металаксил, метрибузин.

В Российской Федерации экологический мониторинг пестицидов (почва, поверхностные воды и атмосферный воздух) осуществляет Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Ежегодно по результатам мониторинга публикуется сборник (Мониторинг пестицидов..., 2014). Например, в 2013 году в РФ было взято 2516 проб почвы, 298 проб воды (из них только 5 – грунтовые воды из почвенных разре-

зов до 2 м глубиной) в четырех десятках регионов РФ. Был проведен мониторинг по 23 наименованиям пестицидов. Из количества отобранных проб, следует, что мониторинг пестицидов в грунтовых водах практически не ведется, а набор подлежащих мониторингу пестицидов не включает в себя ряд подвижных, стойких и широко применяемых пестицидов, которые регулярно обнаруживают в грунтовых водах в других странах. Из 23 пестицидов, по которым проводится мониторинг Росгидромета, только семь разрешены к применению в РФ и входят в Каталог пестицидов и агрохимикатов (Государственный каталог..., 2016).

В 2015 году было принято Распоряжение правительства РФ от 8 июля 2015 г. № 1316-р об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды. Перечень для водных объектов включает 14 пестицидов (только 3 из них в настоящее время используются в сельском хозяйстве для защиты растений).

Контроль содержания в окружающей среде пестицидов является частью мониторинга антропогенных изменений окружающей природной среды. Сама система мониторинга не включает деятельность по управлению качеством среды, но, в идеале, является источником информации необходимой для принятия экологически значимых решений (Майстренко, Клюев, 2007). Понятно, что для разрешенных и запрещенных к применению пестицидов возможные управленческие решения будут различны. При мониторинге исключенных из Каталога (Государственный каталог..., 2016) веществ основной задачей является установление фактов использования этих соединений и выявления источников загрязнений.

Что касается разрешенных к применению пестицидов, то в отличие от других загрязнителей мы в большинстве случаев точно знаем источники, локализацию и объемы их применения. В отличие от уже не используемых веществ, для разрешенных пестицидов имеются механизмы регулирования и регламентирования их поступления в окружающую среду. Таким образом, результаты мониторинга пестицидов в окружающей среде, и в частности, в грунтовых водах, должны быть отправной точкой для принятия решений по предотвращению неблагоприятных последствий для окружающей среды.

Нам представляется, что необходим послерегистрационный мониторинг пестицидов в окружающей среде, который являлся бы частью регистрационного процесса, и по результатам которого имела бы возможность вносить изменения в регламенты применения (дозы, сферы применения), вводить ограничения по применению в некоторых регионах или климатических зонах, вводить запрет на осенние обработки.

Таким образом, перечень пестицидов, подлежащих мониторингу в России, нуждается в пересмотре и обновлении, а определение пестицидов, подлежащих контролю, является актуальной задачей и необходимым шагом в направлении разработки мер по предотвращению негативного влияния применения пестицидов на водные объекты.

Очевидно, что не имеет смысла контролировать все 200 действующих веществ пестицидов, разрешенных к применению. В настоящее время выбор пестицидов для мониторинга в РФ основывается на нескольких показателях опасности, которые основываются на свойствах пестицида, но не учитывают реальные климатические и агрономические условия применения. Как указано в Сборнике, издаваемом Росгидрометом (Мониторинг пестицидов..., 2014): “перечень контролируемых пестицидов определяется как наличием аттестованных методик анализа, так и эколого-токсикологической оценкой пестицидов, проводимой с учетом их токсичности, фитотоксичности гербицидов, объемов их применения, токсичности для рыб и пчел, кумулятивного фактора и персистентности (устойчивости) в почве и воде”. В данном подходе отбор пестицидов для мониторинга проводили с помощью экспертной оценки опасности для окружающей среды. Следует различать опасность и риск. Под экологической опасностью пестицида понимается способность пестицида загрязнять окружающую среду и наносить вред нецелевым (полезным) организмам дикой природы. Мерой экологической опасности пестицидов часто служат классы различного рода классификаций, например, показателей подвижности и стойкости – коэффициент сорбции и период полураспада, и индексов подвижности – GUS и SCI-GROW. Они полезны, в первую очередь, для сравнительной оценки пестицидов по выбранной характеристике, но мало говорят о проявлении реальной опасности в конкретной природной обстановке (Горбатов, Кононова, 2011).

Что касается экологического риска, то Федеральный закон РФ № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» определяет его, как вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера.

Обобщая вышесказанное можно говорить о том, что опасность – это источник потенциального ущерба либо вреда или ситуация с возможностью нанесения ущерба, а риск – это сочетание частоты или вероятности и последствий определенного опасного события. То есть понятие риска всегда включает два элемента: частоту, с которой происходит опасное событие, и последствия опасного события. Применение понятия риска, таким образом, позволяет переводить опасность в разряд измеряемых категорий. Риск фактически есть мера опасности (Швыряев, Меньшиков, 2004).

Предложено для формирования списка приоритетных пестицидов-загрязнителей, подлежащих мониторингу в грунтовых водах, использовать количественные процедуры оценки риска, основанные на расчетах по модели PEARL, учитывающей свойства пестицидов и значимые факторы условий их применения, сравнении прогнозных концентраций с критериями приемлемого риска, тем самым реализуя риск-ориентированный подход к загрязнению вод.

Таким образом, целью работы было сформировать предварительный перечень пестицидов для контроля в грунтовых водах.

Методы и материалы

Сведения о пестицидах

Расчеты проводили для 180 пестицидов, разрешенных в РФ для применения. В качестве источника информации о свойствах пестицидов, требующихся для параметризации модели PEARL, использовали наиболее всеобъемлющую базу – PPDB (Pesticide Properties Database, 2016), где приведены данные о физико-химических свойствах, экотоксичности, поведению в окружающей среде практически всех известных действующих веществ пестицидов. Регламенты применения получали из каталога (Государственный каталог пестицидов..., 2016), а ПДК в воде водоемов – из перечня гигиенических нормативов (ГН 1.2.3111-13, 2013).

Модель PEARL

Расчеты концентраций пестицидов в почвах проводили с использованием модели PEARL и стандартных сценариев входных данных регионов РФ.

Модель PEARL (Tiktak et al., 2000; Leistra et al., 2000) использует следующие закономерности для описания почвенных процессов: закон Дарси и уравнение Ричардса для описания потоков влаги в насыщенной и ненасыщенной почве; уравнение Ван-Генухтена для аппроксимации основной гидрофизической характеристики; конвективно-дисперсионное уравнение, включая диффузию пестицида в газовой фазе с зависимой от температуры константой Генри, для описания перемещения растворенных веществ в почве; сорбционная модель Фрейндлиха, учитывающая равновесную и неравновесную сорбцию; уравнение кинетики первого порядка с учетом влияния влажности, температуры и глубины на скорость разложения пестицида; пассивное поглощение вещества растениями.

В качестве входных данных к модели служат сведения о физико-химических (рН, плотность, содержание органического вещества, гранулометрический состав), гидрологических (параметры уравнения Ван-Генухтена) свойствах почвы, многолетние ежесуточные метеоданные (температура воздуха максимальная и минимальная, количество осадков, давление пара, скорость ветра, солнечная радиация и испарение (по выбору), сведения о фазах развития культуры и физико-химических свойствах пестицида (молекулярная масса, растворимость в воде, константа сорбции, период полураспада, константа Генри и др.).

Стандартные сценарии входных данных

Стандартный сценарий представляет собой совокупность климатических, почвенных и агрономических показателей, характеризующих определенный сельскохозяйственный регион и являющийся набором входных данных для математической модели. Стандартные сценарии нужны для того, чтобы внести согласованность и свести к минимуму влияние субъективных факторов на процесс расчета с помощью математических моделей прогнозируемых концентраций (ПК) пестицидов в почвах и сопредельных средах.

По аналогии с европейскими в лаборатории химии окружающей среды ФГБНУ ВНИИФ были разработаны стандартные сценарии климатических и почвенных условий девяти сельскохозяйственных регионов Российской Федерации, которые реализованы в качестве входных файлов и баз данных для имитационной модели PEARL (Колупаева, Горбатов, 2015). Таким образом, вся территория РФ с развитым сельским хозяйством была разделена на 9 регионов, которые различаются по условиям, влияющим на миграцию пестицидов в грунтовые воды. Территории соответствующие сценариям, Нижний Новгород, Москва, Псков, Владивосток, характеризуются высокой предрасположенностью к миграции пестицидов, Новосибирск, Курск и Краснодар – средней, а Курган и Саратов – низкой (Колупаева, Горбатов, 2016). В расчетах в качестве входных данных метеоусловий и почвенных свойств использовали один из наиболее чувствительных к миграции пестицидов сценарий – Москва.

Моделирование миграции пестицидов в грунтовые воды

При проведении расчетов предполагали, что пестициды вносят в почву путем опрыскивания (без культуры) в максимальной рекомендованной дозе ежегодно в течение 20-ти лет. В результате моделирования рассчитывали средневзвешенные годовые концентрации пестицидов на глубине 1 м за 20 лет, которые далее ранжировали для определения 80% персентилья по погодным условиям (80% персентиль по почвенным свойствам был определен экспертами при разработке стандартных сценариев).

Результаты

Математическая модель PEARL позволяет учитывать влияние погодных, почвенных и агрономических условий на поведение пестицидов и рассчитывать концентрации токсикантов в почве и грунтовых водах для различных комбинаций климат – почва – регламенты применения. Сведения о климате и почвенных свойствах закладываются в стандартных сценариях регионов РФ, которые реализуются в виде баз данных и служат входными файлами к моделям.

При использовании математической модели PEARL определяли средневзвешенные годовые концентрации пестицидов на глубине 1 м. Вероятностный подход реализовался выбором почв для сценария региона и учетом влияния климатических условий путем ранжирования прогнозных концентраций за 20 лет непрерывного применения. Полученные расчетные концентрации действующих веществ пестицидов в стоке грунтовых вод служили для оценки риска применения пестицидов. Для этого их сравнивали с критериями приемлемого риска.

Было предложено использовать трехуровневую схему оценки риска. На **1-ом этапе** определяли соединения с высоким риском миграции. Основным критерием оценки считали величину прогнозной концентрации. Все пестициды были разделены на 3 класса в зависимости от значения прогнозной концентрации:

- риск миграции высокий – прогнозная концентрация ≥ 10 мкг/л (или во 2-ом варианте расчета ≥ 1 мкг/л);
- риск миграции умеренный – < 10 мкг/л и ≥ 0.1 мкг/л (или во втором варианте расчета < 1 мкг/л и ≥ 0.1 мкг/л);
- риск миграции низкий – расчетная концентрация которых ниже < 0.1 мкг/л.

Вещества с высоким риском миграции включались в перечень пестицидов, подлежащих мониторингу в грунтовых водах. Следует отметить, что в ЕС принято считать недопустимым концентрацию единичного пестицида выше 0.1 мкг/л и смеси пестицидов – выше 0.5 мкг/л (Directive..., 2006). Мы же в своих расчетах выбрали менее жесткие критерии, во-первых, чтобы список контролируемых соединений был достаточно компактным, во-вторых, это обусловлено возможностями аттестованных в РФ методов анализа. Было проведено два расчета: в первом варианте пороговой считали концентрацию пестицида в грунтовых водах выше 10 мкг/л, во втором – выше 1 мкг/л.

На **2-ом этапе** для пестицидов, не вошедших в перечень на 1-ом этапе и имеющих умеренный и низкий риск миграции, определяли риск для млекопитающих. Для этого сравнивали прогнозные концентрации пестицидов в грунтовых водах ($C_{ГВ}$) с предельно-допустимыми концентрациями пестицидов в воде водоемов питьевого назначения (Гигиенические нормативы, 2013). Было предложено выделить 3 класса риска для млекопитающих в зависимости от величины коэффициента R , равного отношению ПДК к прогнозной концентрации:

- риск для млекопитающих высокий, если концентраций выше ПДК – $R = \text{ПДК}/C_{ГВ} < 1$;
 - риск умеренный, если концентрация ниже ПДК менее, чем в 10 раз, – $1 \leq R < 10$;
 - риск низкий, если концентрация ниже ПДК более, чем в 10 раз, – $R \geq 10$.
- Пестициды с высоким и умеренным риском для млекопитающих также включались в перечень подлежащих мониторингу и контролю веществ.

На **3-ем этапе** проводили оценку риска для водных организмов, при этом полагали, что грунтовые и поверхностные воды являются тесно связанными между собой природными объектами. В перечень включали пестициды с высоким риском для гидробионтов, когда концентрация превышала показатель токсичности – $R = LC_{50}(\text{NOEC})/C_{ГВ} < 1$. В ЕС при оценке риска для водных организмов в поверхностных водах используют следующие критерии: для острой токсичности $LC_{50}(\text{EC}_{50})/C_{\text{вода}} > 100$ – низкий риск, $100 > LC_{50}(\text{EC}_{50})/C_{\text{вода}} > 10$ – средний риск, $LC_{50}(\text{EC}_{50})/C_{\text{вода}} < 10$ – высокий риск; для хронической токсичности $\text{NOEC}/C_{\text{вода}} > 10$ – низкий риск, $10 > \text{NOEC}/C_{\text{вода}} > 5$ – средний риск, $\text{NOEC}/C_{\text{вода}} < 5$ – высокий риск (Горбатов, Кононова, 2011). Нами выбран менее жесткий критерий, риск считается высоким, когда имеется превышение концентрации в грунтовых водах над полулетальной или недействующей концентрацией.

Результаты расчетов представлены в табл. 1 и 2. Согласно результатам первого варианта расчетов в перечень пестицидов для мониторинга вошло 41

соединение, из них 19 характеризуются высоким риском миграции, 17 – высоким и умеренным риском для млекопитающих и умеренным риском миграции, 5 – высоким риском для водных организмов. Из 19 пестицидов с прогнозными концентрациями выше 10 мкг/л (высокий риск миграции) только 3 соединения характеризуются низким риском для млекопитающих, остальные же 16 обладают высоким и умеренным риском для млекопитающих и вошли в список по обоим критериям.

Таблица 1. Список пестицидов, подлежащих мониторингу в грунтовых водах (1-й вариант расчета)

	Высокий риск миграции (прогнозная концентрация >10 мкг л ⁻¹)	Высокий и умеренный риск для млекопитающих*	Высокий риск для водных организмов (R<1)**	Подлежат мониторингу
Гербициды, шт.	8	14(8)	5(3)	19
Фунгициды, шт.	8	16(7)	3(1)	16
Инсектициды, шт.	3	4(2)	2(0)	5
Всего, шт. пестициды	19***	33(17***)	10(5***)	41***

Примечания: * – в скобках – количество без учета пестицидов, характеризующихся высоким риском миграции (не вошедшие в столбец 1);

** – в скобках – количество без учета пестицидов с высоким риском миграции и высоким и умеренным риском для млекопитающих (не вошедшие в столбцы 1-2);

*** – тремя звездочками отмечены пестициды, вошедшие в список

По второму варианту расчета (табл. 2), когда риск миграции считался высоким при прогнозной концентрации выше 1 мкг/л, в список было включено 47 пестицидов: 40 из них характеризуются высоким риском миграции, 5 – умеренным риском для млекопитающих и 2 – высоким риском для водных организмов.

Таблица 2. Список пестицидов, подлежащих мониторингу в грунтовых водах (2-ой вариант расчета)

	Высокий риск миграции (прогнозная концентрация >1 мкг л ⁻¹)	Высокий и умеренный риск для млекопитающих*	Высокий риск для водных организмов (R<1)**	Подлежат мониторингу
Гербициды, шт.	18	14(4)	5(2)	24
Фунгициды, шт.	17	15(0)	3(0)	17
Инсектициды, шт.	5	4(1)	2(0)	6
Всего, шт.	40***	33(5***)	10(2***)	47***

Примечания: * – в скобках – количество без учета пестицидов, характеризующихся высоким риском миграции (не вошедшие в столбец 1);

** – в скобках – количество без учета пестицидов с высоким риском миграции и высоким и умеренным риском для млекопитающих (не вошедшие в столбцы 1-2);

*** – тремя звездочками отмечены пестициды, вошедшие в список

Дискуссия

При оценке риска миграции, когда критерием для включения в перечень являлась прогнозная концентрация, в список вошло 19 и 40 пестицидов по первому ($C_{ГВ} > 10$ мкг/л) и второму ($C_{ГВ} > 1$ мкг/л) вариантам расчетов соответственно. В основу этого критерия положена величина прогнозной концентрации пестицида в воде. Снижение порогового значения в расчетах с 10 мкг/л до 1 мкг/л незначительно увеличило общее количество пестицидов, вошедших в список, поэтому предлагается использовать более строгий критерий и считать недопустимым наличие в грунтовых водах пестицидов в количестве более 1 мкг/л. В перечень для мониторинга попали гербициды бентазон, МЦПА, тербутилазин, клопиралид, метрибузин, фунгицид – металаксил и инсектицид – имидаклоприд. Все эти соединения обнаруживаются в грунтовых водах при мониторинге в других странах.

Предотвращение попадания пестицидов в грунтовые воды представляет собой важную задачу, поскольку грунтовые воды являются уязвимым природным объектом, практически неспособным к самоочищению. Температурные условия, отсутствие микробиологической активности и слабая сорбционная способность грунтов приводят к тому, что пестициды могут длительное время находиться в грунтовых водах в неизменном состоянии. Так, Гольдберг и Газда (Гольдберг, Газда, 1984) писали, что скорость разложения пестицидов в подземных водах в 1000 раз ниже, чем в поверхностных, что может приводить к накоплению остатков пестицидов в подземных водах.

По двум критериям – риску миграции и опасности для млекопитающих – в список вошло 36 и 45 пестицидов по двум вариантам расчетов соответственно.

По трем критериям, включая риск для водных организмов, в список вошло 40 и 47 веществ, что составило 23 и 26 процентов от всех пестицидов по первому и второму варианту расчетов соответственно. Этот список составлен для сценария Москва, включающего в себя 5 субъектов РФ в Центральной Нечерноземной зоне. Он может быть скорректирован в сторону уменьшения с учетом реальных объемов применения данных пестицидов в этой полосе.

Таким образом, считаем, что подходы к мониторингу разрешенных и запрещенных к применению пестицидов должны быть различны.

Выбор приоритетных пестицидов для мониторинга в грунтовых водах, из числа разрешенных в РФ, должен быть основан на следующих принципах.

Избирательность. Не следует измерять концентрации всех пестицидов, разрешенных к применению, отбор приоритетных соединений для мониторинга является важной научной и практической задачей.

Риск-ориентированный подход к выбору пестицидов, подлежащих мониторингу. Предлагается оценивать риск пестицидов для грунтовых вод, сравнивая прогнозные концентрации в грунтовых водах с критериями приемлемого риска. Использование моделирования позволяет определять средневзвешенные годовые прогнозные концентрации пестицидов в стоке на глубине 1 м с учетом почвенных, климатических и агрономических условий

применения пестицида. Проведение прогноза за большой промежуток времени (20 лет ежегодного применения) и выбор почв для стандартных сценариев позволяют определить концентрацию пестицида в стоке, вероятность достижения которой равна 80%.

Комплексный подход. Оценка риска проводится по уровню содержания в грунтовых водах (энвайронментальная составляющая), по риску для млекопитающих (антропоцентрическая составляющая) и по риску для водных организмов (ихтиоцентрическая составляющая).

Региональный подход. При выборе пестицидов для мониторинга учитываются климатические и почвенные условия, влияющие на загрязнение грунтовых вод в реальных условиях применения, агрономические условия, включающие регламенты применения и набор культур, используемых на этой территории (что учитывается моделью), а также объемы применения пестицида в данном регионе.

Пошаговый подход к определению перечня пестицидов, подлежащих мониторингу. Неправильный выбор пестицидов для мониторинга может привести к экологическому ущербу в случае, если пестицид с высоким риском не попадет в перечень, и необязательным затратам, если пестицид с низким риском попадет в перечень. Предлагается использовать многоуровневую систему отбора, в которой на первом этапе для составления перечня используется моделирование. На втором этапе проводятся трехлетние лизиметрические исследования для подтверждения реальной опасности миграции пестицида.

Выработка управленческих решений по контролю пестицидов в грунтовых водах. Важной целью мониторинга пестицидов в грунтовых водах является выработка мер по снижению неблагоприятных последствий применения пестицидов для грунтовых вод, вплоть до ограничения их использования.

Список литературы

Гольдберг В.М., Газда С. 1984. Гидрогеологические основы охраны почв от загрязнения. – М., Недра, 262 с.

Горбатов В.С., Кононова Т.В. 2011. Структура экологических данных о пестицидах. – Нива Поволжья, № 1 (18), с. 17-20.

ГН 1.2.3111-13. 2013. Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (перечень), 118 с.

Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов. 2016. – Электронный ресурс. URL: <http://mcx.ru/ministry/departments/departament-rasteniyevodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/in-dustry-information/info-gosudarstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i-agrokhimikatov/> (дата обращения 10.07.2017).

Колупаева В.Н., Горбатов В.С. 2015. Моделирование миграции пестицидов в грунтовые воды с помощью модели PEARL и стандартных сценариев регионов России. – В сб.: Актуальні проблеми дослідження довкілля. – Суми, СумДПУ імені А. С. Макаренка, т. 2, с. 161-166.

Колупаева В.Н., Горбатов В.С. 2016. Оценка уязвимости регионов России к миграции пестицидов в грунтовые воды. – В сб.: Тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с зарубежным участием научной конференции (Белгород, 15-22 августа 2016 г.), ч. I /отв. ред.: С.А. Шоба, И.Ю. Савин. – Москва – Белгород, Издательский дом “Белгород”, с. 356-357.

Майстренко В.Н., Клюев Н.А. 2007. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей. – М., БИНОМ, Лаборатория знаний, 324 с.

Михайликова В.В., Стребкова Н.С., Говоров Д.Н., Живых В. 2015. Применение пестицидов в Российской Федерации. – Защита и карантин растений, № 11, с. 12-14.

Мониторинг пестицидов в объектах природной системы РФ в 2013 году. 2014. Ежегодник. – Обнинск, ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД, 72 с.

Федеральный закон РФ № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ. – Электронный ресурс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения 10.07.2017).

Швыряев А.А., Меньшиков В.В. 2004. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе: Учебное пособие для вузов. – М., Изд-во МГУ, 124 с.

Akesson M., Sparrenbom Ch.J., Dahlqvist P., Stephen J. 2015. Fraser On the scope and management of pesticide pollution of Swedish groundwater resources: The Scanian example. – *Ambio*, vol. 44(3), pp. 226-238.

Albanis T.A., Hela D.G., Sakellarides T.M., Konstantinou I.K. 1998. Monitoring of pesticide residues and their metabolites in surface and underground waters of Imathia (N. Greece) by means of solid-phase extraction disks and gas chromatography. – *Journal of Chromatography A*, vol. 823, pp. 59-71.

Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration, 2006. – *Official Journal of the European Union*, L372, pp. 19-31.

Fava L., Orrù M.A., Scardala S., Alonzo E., Fardella M., Strumia C., Martinelli A., Finocchiaro S., Previtera M., Franchi A., Calà P., Dovis M., Bartoli D., Sartori G., Broglia L., Funari E. 2010. Pesticides and their metabolites in selected Italian groundwater and surface water used for drinking. – *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità*, vol. 46, No. 3, pp. 309-316.

Haarstad K. 2007. Ten Years of Pesticide Monitoring in Norwegian Ground Water. – *Ground Water Monitoring & Remediation*, vol. 27, No. 3, pp. 75-89.

Leistra M., van der Linden A.M.A., Boesten J.J.T.I., Tiktak A., van den Berg F. 2000. PEARL model for pesticide behaviour and emissions in soil-plant systems. Description of processes. – *Alterra report 13, RIVM report 711401009*, p. 107.

Pesticide Properties Database (PPDB). 2016. – Available at: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/index.htm> (accessed 15.08.2016)

Thodal C.E., Carpenter J., Moses C.W. 2008. Monitoring for Pesticides in Groundwater and Surface Water in Nevada, 2008 – Nevada Water Science Center, available at: <https://pubs.usgs.gov/fs/2009/3093/pdf/fs20093093.pdf> (accessed 25.09.2018).

Tiktak A., van den Berg F., Boesten J.J.T.I., Leistra M., van der Linden A.M.A., van Kraalingen D. 2000. Pesticide Emission at Regional and Local scales: Pearl version 1.1. – User Manual, RIVM report 711401008, Alterra report 29, p. 144.

References

Gol'dberg V.M., Gazda S. 1984. *Gidrogeologicheskie osnovy ohrany pochv ot zagryaznenija* [Hydrogeological basis of soil protection from contamination]. Moscow, 262 p.

Gorbatov B.C., Kononova T.V. Struktura jekologicheskikh dannyh o pesticidakh [Structure of environmental data on pesticides]. *Niva Povolzh'ja – Niva of the Volga Region*, no. 1 (18), pp. 17-20.

GN 1.2.3111-13. 2013. *Gigienicheskie normativy sodержaniya pesticidov v ob"ektah okružhajushhej sredy (perechen')* [Hygienic standards for the content of pesticides in environmental objects (list)], 118 p.

Gosudarstvennyj katalog pesticidov i agrohimitov [State catalog of pesticides and agrochemicals]. 2016. Available at: <http://mcx.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-gosudarstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoj-registratsii-pestitsidov-i-agrokhimikatov/> (accessed 10.07.2017).

Kolupaeva V.N., Gorbatov V.S. 2015. Modelirovanie migracii pesticidov v gruntovye vody s pomoshh'ju modeli PEARL i standartnyh scenariev regionov Rossii [Modeling the migration of pesticides to groundwater using the PEARL model and standard scenarios of Russian regions.]. *V sb.: Aktual'ni problemi doslidzhennja dokillja* [In: Actual Problems of Environmental Research]. Sumy, vol. 2, pp. 161-166.

Kolupaeva V.N., Gorbatov V.S. 2016. Ocenka ujazvimosti regionov Rossii k migracii pesticidov v gruntovye vody [Assessment of the vulnerability of Russian regions to the migration of pesticides to groundwater]. *V sb.: Tezisy dokladov VII s"ezda Obshhestva pochvovedov im. V.V. Dokuchaeva i Vserossijskoj s zarubezhnym uchastiem nauchnoj konferencii (Belgorod, 15-22 avgusta 2016 g.)* [In: Abstracts of the reports of the VII Congress of the Society of Soil Scientists them. V.V. Dokuchaev and All-Russian with a foreign participation in a scientific conference (Belgorod, August 15-22, 2016)]. Moscow – Belgorod, Part I, pp. 356-357.

Majstrenko V.N., Kljuev N.A. 2007. *Jekologo-analiticheskij monitoring stojkikh organicheskikh zagryaznitelej* [Ecological-analytical monitoring of persistent organic pollutants]. Moscow, 324 p.

Mihajlikova V.V., Strebkova N.S., Govorov D.N., Zhiviyh V. 2015. Primenenie pesticidov v Rossijskoj Federacii [Application of pesticides in the Russian Federation]. *Zashhita i karantin rastenij – Plant Protection and Quarantine*, no. 11, pp. 12-14.

Monitoring pesticidov v ob'ektah prirodnoj sistemy RF v 2013 godu [Monitoring of pesticides in the objects of the natural system of the Russian Federation in 2013]. 2014. Obninsk, 72 p.

Federal'nyj zakon RF № 7-FZ «Ob ohrane okruzhajushhej sredy» ot 10.01.2002 N 7-FZ [Federal Law of the Russian Federation No. 7-FZ "On Environmental Protection" of 10.01.2002 N 7-FZ]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (accessed 10.07.2017).

Shvyryaev A.A., Men'shikov V.V. 2004. *Ocenka riska vozdeystviya grjaznenija atmosfery v issleduemom regione: Uchebnoe posobie dlja vuzov* [Assessment of the risk of atmospheric pollution in the region under study: Textbook for high schools]. Moscow, 124 p.

Akesson M., Sparrenbom Ch.J., Dahlqvist P., Stephen J. 2015. Fraser On the scope and management of pesticide pollution of Swedish groundwater resources: The Scanian example. – *Ambio*, vol. 44(3), pp. 226-238.

Albanis T.A., Hela D.G., Sakellarides T.M., Konstantinou I.K. 1998. Monitoring of pesticide residues and their metabolites in surface and underground waters of Imathia (N. Greece) by means of solid-phase extraction disks and gas chromatography. – *Journal of Chromatography A*, vol. 823, pp. 59-71.

Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration, 2006. – *Official Journal of the European Union*, L372, pp. 19-31.

Fava L., Orrù M.A., Scardala S., Alonzo E., Fardella M., Strumia C., Martinelli A., Finocchiaro S., Previterra M., Franchi A., Calà P., Dovis M., Bartoli D., Sartori G., Broglia L., Funari E. 2010. Pesticides and their metabolites in selected Italian groundwater and surface water used for drinking. – *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità*, vol. 46, No. 3, pp. 309-316.

Haarstad K. 2007. Ten Years of Pesticide Monitoring in Norwegian Ground Water. – *Ground Water Monitoring & Remediation*, vol. 27, No. 3, pp. 75-89.

Leistra M., van der Linden A.M.A., Boesten J.J.T.I., Tiktak A., van den Berg F. 2000. PEARL model for pesticide behaviour and emissions in soil-plant systems. Description of processes. – *Alterra report 13, RIVM report 711401009*, p. 107.

Pesticide Properties Database (PPDB). 2016. – Available at: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/index.htm> (accessed 15.08.2016).

Thodal C.E., Carpenter J., Moses C.W. 2008. Monitoring for Pesticides in Groundwater and Surface Water in Nevada, 2008 – Nevada Water Science Center, available at: <https://pubs.usgs.gov/fs/2009/3093/pdf/fs20093093.pdf> (accessed 25.09.2018).

Tiktak A., van den Berg F., Boesten J.J.T.I., Leistra M., van der Linden A.M.A., van Kraalingen D. 2000. Pesticide Emission at Regional and Local scales: Pearl version 1.1. – User Manual, RIVM report 711401008, Alterra report 29, p. 144.

Статья поступила в редакцию: 19.07.2017 г.