

УДК 913.614.76

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КРЫМА ПЕСТИЦИДАМИ, КОТОРЫЕ ПОСТУПАЮТ НА НЕЕ С АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ В XXI ВЕКЕ

Холопцев А. В., Рябинин А. И., Клименко Н. П.

*Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени
Н. Н. Зубова», Севастополь, Российская Федерация
E-mail: Kholoptsev@mail.ru*

Особенности межгодовых изменений загрязненности поверхности Крымского полуострова и прилегающих акваторий Черного и Азовского морей хлорорганическими пестицидами, которые поступают в него с атмосферными осадками, изучены по результатам их мониторинга в Севастополе в 1993–2005 гг.

Основываясь на данных упомянутого мониторинга, верифицирована математическая модель зависимости концентраций указанных пестицидов в атмосферных осадках от их интенсивности. Выявлены тенденции изменчивости в XXI веке потоков данных веществ, поступавших на поверхность различных районов Крыма. Оценены суммарные значения их потоков за этот период. Установлено, что и ныне миграция этих веществ с загрязненных ими территорий через атмосферу может способствовать росту онкологической заболеваемости населения некоторых районов Крыма.

Ключевые слова: Крым, пестициды, атмосферные осадки, поток, моделирование, концентрации, тенденция.

ВВЕДЕНИЕ

Хлорорганические пестициды (ХОП) – α -гексахлорциклогексан и γ -гексахлорциклогексан (далее α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ) являются многоядерными ароматическими углеводородами, которые поступают в биосферу только из техногенных источников [1]. Они очень токсичны и представляют опасность для здоровья человека, а также любых других живых существ даже в сверхмалых концентрациях [2]. Поэтому совершенствование методик моделирования и прогнозирования процессов загрязнения территорий и акваторий этими веществами, которые поступают из атмосферы на земную поверхность в тех или иных регионах мира, является актуальной проблемой геохимии и экологической безопасности.

Значительный интерес решение данной проблемы представляет для сельскохозяйственных регионов, которые также традиционно используются для рекреации. К их числу относится такой регион России, как Крым, в состав которого входит территория Крымского полуострова, а также прилегающие к его побережьям акватории Черного и Азовского морей.

Почвы и воды некоторых районов Крыма существенно загрязнены пестицидами, что является одной из причин загрязненности этими веществами терригенного аэрозоля над ними. Последнее заметно влияет на состояние экосистем Крыма и может представлять опасность для его населения [3].

Роль ХОП в биосфере уже многие десятилетия изучается отечественными и зарубежными учеными [4, 8, 9]. Установлено, что в нижних слоях тропосферы эти

вещества в основном содержатся в пылевых частицах присутствующего в них аэрозоля [10].

Одним из существенных механизмов миграции таких частиц из атмосферы на земную поверхность является их «вымывание» при выпадении атмосферных осадков [11].

Установлено [12], что к числу характеристик атмосферных осадков, наиболее существенно влияющих на эффективность этого процесса, относятся их интенсивность и агрегатное состояние. Так как ХОП содержатся преимущественно в пылевых частицах терригенного и техногенного происхождения, поток любого из этих веществ, который с атмосферными осадками поступает на земную поверхность, во многом определяется также местными географическими, геохимическими и антропогенными факторами. Следовательно, потоки α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ, которые при выпадении атмосферных осадков одинаковой интенсивности поступают на разные участки земной поверхности или в разные сезоны, могут заметно различаться.

Учитывая способности ХОП к накоплению в экосистемах, к числу существенных характеристик значимости влияния данных веществ на живую природу относятся тенденции изменения их потоков, которые поступают на соответствующие участки земной поверхности за тот или иной промежуток времени, а также их суммарные значения [9].

Значение потока любого вещества, осаждающегося на земную поверхность, определяется его количеством (массой), поступающим на единицу ее площади за единицу времени. Следовательно, главными факторами, которые обуславливают изменения данного показателя при выпадении атмосферных осадков, являются вариации концентрации в них соответствующего вещества.

В 60-х годах XX века было установлено, что ХОП являются очень опасными и устойчивыми канцерогенами, способными накапливаться в организмах живых существ [7, 10]. Вследствие этого их концентрации в продуктах питания, потребляемых человеком, могут многократно превышать соответствующие показатели для почв и водоемов, достигая недопустимо высоких уровней [13].

Основной ущерб живой природе ХОП наносят в период вегетации растений [2,7]. Вследствие этого оценка характеристик изменчивости их концентраций в различных природных средах представляет наибольший практический интерес для летнего сезона.

Учитывая указанные особенности ХОП, их использование в сельском хозяйстве в качестве пестицидов было во всем мире запрещено уже в 60-е годы XX века. Тем не менее в пробах воды и почвы, отобранных во многих его регионах и после введения в действие этого запрета, в том числе в наши дни, данные вещества продолжают обнаруживаться в концентрациях, представляющих опасность для здоровья человека [3, 6, 7, 8, 9].

В Крыму мониторинг изменчивости концентраций ХОП в атмосферных осадках, которые поступали на некоторые участки его побережья, а также омывающие их морские акватории в 1993–2005 гг., осуществлялся Севастопольской

лабораторией химии моря (ныне Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова», далее – СО ГОИН). В дальнейшем он был прекращен, хотя регистрируемые концентрации этих веществ отнюдь не уменьшались. Не осуществляется он в Крыму и ныне.

Несмотря на то, что за период осуществления упомянутого мониторинга многие существенные особенности изменчивости концентраций α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ в атмосферных осадках, выпадающих в Крыму, были выявлены, математические модели этого процесса, которые позволили бы осуществить прогнозирование его динамики в последующие годы, разработаны не были. Это не позволяет оценить как тенденции изменений потоков ХОП, которые осаждались из атмосферы на различные его территории и акватории за весь период с начала XXI века, так и их суммарные значения, а также учесть подобную информацию при планировании природоохранных мероприятий.

Цель данной работы – выявление современных тенденций изменения загрязненности поверхности Крыма ХОП, которые поступают в летний сезон на различные ее участки, с атмосферными осадками, а также суммарных значений их потоков.

Для ее достижения решены следующие задачи:

1. Верификация и оценка адекватности модели изменений концентрации α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ, содержащихся в выпадающих в Крыму атмосферных осадках, которые обусловлены вариациями их интенсивности.

2. Оценка с использованием этой модели тенденций изменения потоков α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ в атмосферных осадках, которые за период с начала XXI века выпадали в летние месяцы на поверхность различных районов Крымского полуострова, а также их суммарных значений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При решении первой задачи как фактический материал об изменениях концентрации α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ в летних атмосферных осадках на территории Крыма использованы результаты их мониторинга, проводившегося в СО ГОИН г. Севастополе в период с 1993 г. по 2005 г., которые ранее не были опубликованы.

Пробы атмосферных осадков на анализ отбирались на крыше здания СО ГОИН, которое расположено в центральной части г. Севастополя, на высоте 100 м над уровнем моря специальным сборником осадков полезной площадью 0,3 м² по методике [14].

Время экспозиции каждой пробы составляло 1 сутки. В пробе определялись ее объем (V), а также содержание (M_k) в ней того или иного ХОП ($k=1$ для α -ГХЦГ; $k=2$ для γ -ГХЦГ). Концентрация каждого изучаемого вещества в пробе (L_k) определялась как:

$$L_k = M_k / V \quad (1).$$

Значение суточной интенсивности атмосферных осадков определялось как:

$$H=V/S \quad (2),$$

где: S – площадь входного отверстия водоотборного сосуда.

В качестве примера значения концентрации рассматриваемых веществ, которые присутствовали в атмосферных осадках, выпавших в некоторые сутки указанного периода, приведены в таблице 1.

Таблица 1.
Примеры концентраций ХОП в атмосферных осадках, которые выпадали летом 1993–2005 гг. в г. Севастополе

Дата отбора пробы	Концентрация α -ГХЦГ, (нг/дм ³)	Концентрация γ -ГХЦГ, (нг/дм ³)	Количество выпавших осадков(мм)
15.07.1993	2,3	4,4	17,6
29.08.1993	1,8	2,5	12,3
30.08.1993	4,7	3,2	6,8
03.09.1993	3,0	5,5	5,6
13.07.1995	4,0	5,2	18,4
22–23.08.1996	9,4	8,3	52,5
06.09.2000	2,8	2,0	29,5
14.08.2001	16,5	5,6	17,3
03.09.2000	0,8	0,9	17,7
06.09.2001	8,3	16	16,5
14.08.2003	1,2	1,4	17,8
21.09.2005	7,5	4,7	4,4

Как видно из таблицы 1, значения концентраций рассматриваемых веществ в атмосферных осадках, которые в летние сезоны выпадали в г. Севастополе, как правило, не превышали соответствующие нормативные уровни ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения (10 нг/дм³). При этом тенденции к снижению их значений не наблюдалось, несмотря на то, что применение данных веществ в сельском хозяйстве прекращено уже много десятилетий тому назад. Более того, максимальные их значения зафиксированы уже в XXI веке (в августе и сентябре 2001 г.).

Непревышение концентрациями рассматриваемых веществ указанных уровней ПДК отнюдь не означает, что их присутствие в атмосферных осадках для населения Севастополя не является существенным.

Как уже отмечалось выше, ХОП обладают выраженной ярко способностью накапливаться в почвах, вследствие чего они не выводятся из них на протяжении многих десятилетий. Накапливаются ХОП также и в водоемах. Попав в них, эти вещества постепенно мигрируют в донные осадки, где их концентрация многократно выше, чем в воде [4].

Атмосферные осадки, которые выпадают на почвы, загрязненные ХОП, всего лишь добавляют в них некоторое количество данных веществ. Это со временем может приводить к осязательному превышению концентраций в них не только указанных уровней ПДК, но и уровней, угрожающих здоровью населения.

Выращенные на таких почвах растения и животные, а также выловленные в таких водоемах рыбы и моллюски не должны использоваться при производстве продуктов питания. Из этого следует, что прекращение мониторинга ХОП в 2005 г. существенно снизило экологическую безопасность населения Севастополя, а также в целом Крыма и, возможно, послужило одной из причин роста здесь онкологической заболеваемости [23].

При решении первой задачи предполагалось, что средняя концентрация рассматриваемых ХОП в атмосферных осадках не зависит от расположения района Крыма, в котором они выпадают, но является функцией их интенсивности. Она определяется также конкретным видом ХОП и сезоном, в котором соответствующие осадки выпадают. Поэтому как модель, связывающая изменения средней концентрации ХОП в атмосферных осадках (l нг/дм³) с вариациями их суточных сумм (H , мм), использовано предложенное Чайкиной А. В. и Холопцевым А. В. [15] соотношение:

$$l = F \cdot \exp\{-H/c\} \quad (3),$$

где: F (нг/дм³) и c (мм) – положительные константы, значения которых для различных районов Крыма (в соответствии с указанным предположением) неизменны.

При верификации данной модели значения констант для каждого ХОП определялись для летнего и зимнего сезонов отдельно с использованием метода наименьших квадратов [16].

При решении второй задачи как фактический материал о месячных суммах (MS) атмосферных осадков, которые в те или иные месяцы выпадали в различных районах Крыма, использованы результаты реанализа [17].

Для проверки их адекватности использована информация о значениях $MSiT$, которые измерены на метеостанциях, расположенных в различных пунктах Крыма за 1973–2013 гг. Эта информация получена из архива СО ГОИН. Расположение метеостанций, которые функционировали в Крыму в указанный период, а также границ его ландшафтных областей показано на рисунке 1.

Из рис. 1 видно, что в период 1973–2013 гг. в Крыму функционировало 19 метеостанций (в Севастополе их было две – на мысе Херсонес и на Павловском

мысе), которые располагались во всех его ландшафтных областях, что позволяет адекватность результатов реанализа [17] оценить с достаточной достоверностью.

При этой оценке для всего указанного периода сопоставлялись значения суточных сумм атмосферных осадков, зафиксированные на всех метеостанциях Крыма, со значениями средних значений данных показателей, вычисленных по результатам реанализа для каждого участка территории, размером $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$, на котором та или иная из них расположена.

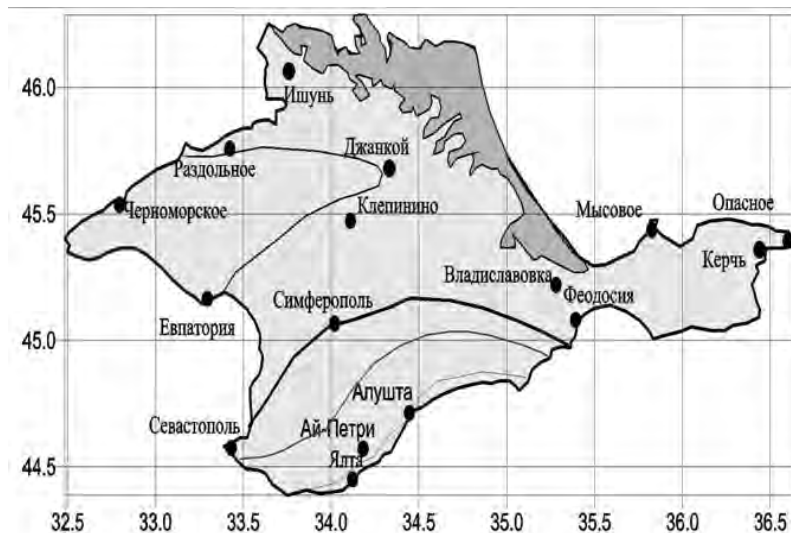


Рис. 1. Расположение метеостанций Крыма, функционировавших в период 1973–2013 гг., и границ его ландшафтных областей.

При вычислении средних значений суточных сумм атмосферных осадков, выпадавших на поверхность каждого подобного участка, в его пределах по методу Монте-Карло выбиралось 100 точек, в которые интерполировались значения рассматриваемого показателя, соответствующие его вершинам (они содержатся в [17]). Рассматриваемый показатель для этого участка вычислялся как среднее арифметическое полученных таким образом результатов интерполяции.

Как критерий адекватности рассматривалось значение отношения среднеквадратического отклонения разности оцененного таким образом месячного значения суммы атмосферных осадков, выпавшей на участке территории Крыма, где расположена некоторая метеостанция, и ее фактического значения, к ее фактическому значению.

Установлено, что при указанных размерах рассматриваемых участков значения этого отношения для любых метеостанций Крыма не превышает 0,25, что позволяет рассматривать использованный фактический материал об атмосферных осадках как пригодный для выявления качественных закономерностей.

Средний поток ХОП, выпадающих с атмосферными осадками за те или иные сутки на территорию каждого участка Крымского полуострова размером $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$, вычислялся с помощью (1). Для этого в указанное соотношение вместо H подставлялось вычисленное значение средней суточной суммы выпадавших на нем атмосферных осадков в те или иные сутки – B_{jk} (здесь j – номер участка, k – номер суток некоторого месяца, в течение которых выпадали осадки).

Так как принято допущение, согласно которому значения параметров F и c модели (1) для различных районов Крыма неизменны и равны их значениям, установленным для Севастополя, поток ХОП, выпадающих в j - районе за тот или иной месяц (LM_j), оценивался как:

$$LM_j = T_k(F * \exp\{-B_{jk}/c\}) \quad (4).$$

Адекватность данного допущения необходимо подтвердить. Для этого предполагалось, что в среднем баланс между выведением пестицидов из вод некоторого водохранилища в донные осадки и их деструкцией, а также их загрязнением этими веществами нулевой. В подобном случае между изменениями вычисленных с использованием (2) оценок их потоков, поступающих в него с атмосферными осадками, а также вариациями фактических значений их концентраций в его водах, должно наблюдаться соответствие.

Для проверки наличия подобного соответствия сопоставлены изменения потоков α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ, поступающих за летний сезон в водохранилища Загорское и Счастливое (Ялта), а также Симферопольское (Симферополь), с вариациями измеренных в их водах концентраций этих веществ.

Поток некоторого ХОП, поступающего за весь летний сезон на поверхность того или иного водохранилища, вычислялся как сумма месячных потоков за месяцы июнь, июль и август.

Фактическим материалом о концентрациях ХОП в указанных водных объектах являлись результаты их мониторинга, который производился сотрудниками СО ГОИН в летние месяцы 1993–2000 гг.

Содержание в пробах ХОП определялось с использованием газохроматографического метода. Методика анализа изложена в [18].

Результаты анализов получены из архива СО ГОИН.

При решении второй задачи использована методика, в соответствии с которой как количественная мера тенденции изучаемых процессов рассмотрено соответствующее периоду 2000–2013 гг. значение углового коэффициента линейного тренда межгодовых изменений их состояний [16]. Физический смысл данного показателя – средняя скорость изменений состояния изучаемого процесса за рассматриваемый период времени. Если его значение, соответствующее некоторому району, положительно, поток соответствующего вещества, поступающего на данную территорию (акваторию), увеличивается.

При расчете значений указанной меры использована методика [16], а также временные ряды вычисленных с использованием (2) значений потоков изучаемых

ХОП, поступавших в те или иные районы Крыма за летние сезоны 2000–2013 гг. За тот же период и для тех же районов вычислены также суммарные значения потоков этих веществ.

Полученные результаты отображены на контурной карте Крыма изолиниями, при построении которых использован метод триангуляции Делоне [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

С использованием описанного фактического материала и изложенной методики верифицирована математическая модель (1), которая связывает между собой значения средних концентраций α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ в атмосферных осадках, выпадающих на территорию Крыма в различные сезоны, а также суточную интенсивность этих осадков. В качестве примера установленные таким образом значения этой модели, которые соответствуют летнему и зимнему сезону, приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Значения параметров модели (1) зависимости средней концентрации α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ в выпавших за сутки в Крыму атмосферных осадках от их суточной суммы

№	Наименование ХОП	ЛЕТО		ЗИМА	
		F (нг/дм ³)	c (мм)	F (нг/дм ³)	c (мм)
1	α -ГХЦГ	2,02	8,05	1,06	9,91
2	γ -ГХЦГ	1,98	11,96	0,51	15,11

Из таблицы 2 видно, что значения параметров модели, оцененные для разных веществ и разных сезонов, существенно различаются, что отчасти подтверждает адекватность выдвинутого предположения.

В качестве примера, подтверждающего адекватность результатов моделирования зависимостей средней концентрации α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ от суточных сумм атмосферных осадков, выпадавших в Крыму в летние месяцы, на рис. 2 представлено их сравнение с фактическими данными, которые получены для Севастополя.

Из рис. 2 следует, что модель (1) удовлетворительно соответствует фактическим зависимостям концентраций рассматриваемых веществ в атмосферных осадках, выпадавших в Севастополе в летние месяцы, от их суточных сумм. Наиболее точное соответствие имеет место при значениях суточных сумм атмосферных осадков, не превышающих 30 мм.

Для проверки адекватности предположения о том, что и для других районов Крыма параметры модели (F и c) имеют такие же значения, что и для Севастополя, использована описанная выше методика. В соответствии с ней сопоставлены изменения вычисленных значений суммарных потоков ХОП, которые поступали за летние сезоны 1973–2011 гг. на поверхности водохранилищ Счастливое и Загорское

(Ялта), а также Симферопольское (Симферополь), с вариациями фактически измеренных концентраций данных веществ в их водах.

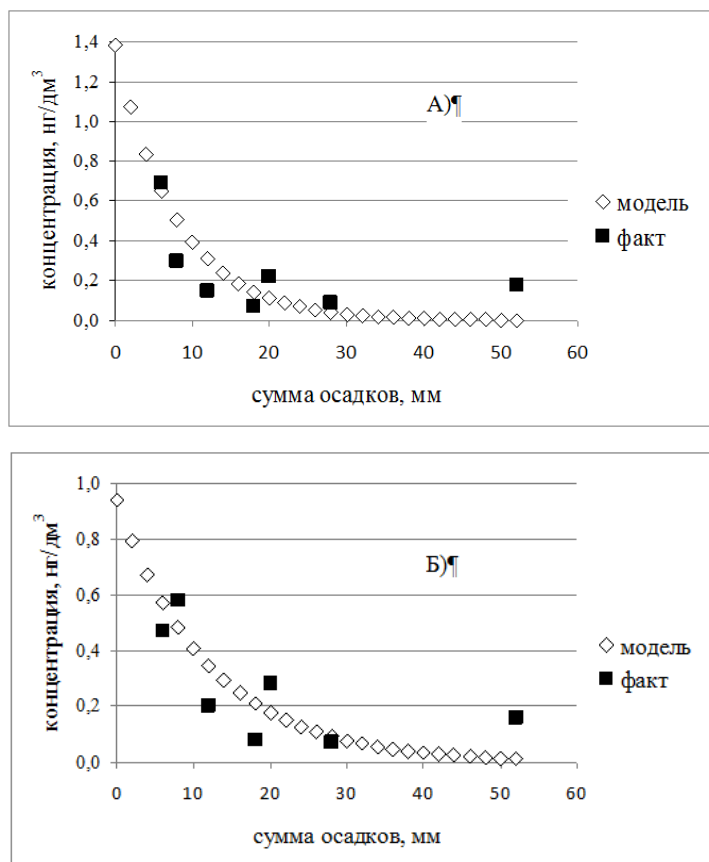


Рис. 2. Модельная и фактическая зависимости концентраций в пробах α -ГХЦГ (А) и γ -ГХЦГ (Б) от суточных сумм атмосферных осадков, выпадавших в Севастополе в летние месяцы.

Как пример полученных при этом результатов на рис. 3 приведены зависимости от времени вычисленных с использованием (2) оценок потоков α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ, которые поступали с атмосферными осадками за летние сезоны 1973–2011 гг. в водохранилища Счастливое и Загорское (Ялта), а также фактических значений концентраций данных веществ в их поверхностных водах, зафиксированных в августе – октябре 1993–2001 гг. Между сопоставляемыми зависимостями действительно существует качественное соответствие. Увеличение отличий между ними, которое наблюдалось начиная с 1996 г., может быть следствием разницы сроков, в которые производились наблюдения. До 1995 г. они выполнялись в

августе, а начиная с 1996 г. – в сентябре и октябре, так как в те годы в августе дождей над данными водохранилищами практически не было.

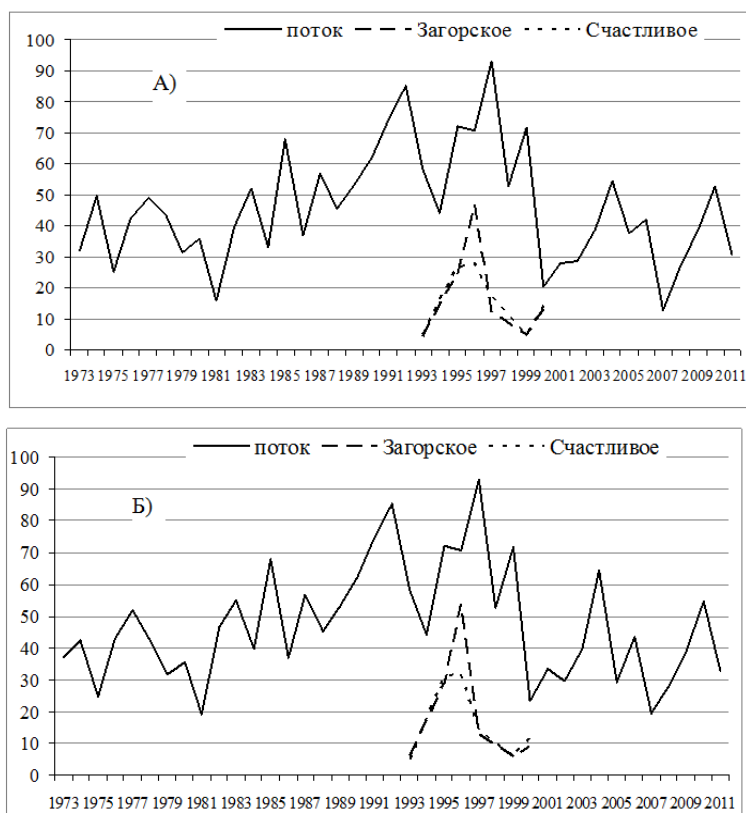


Рис. 3. Изменения оценочных значений потоков (нг/м²) α-ГХЦГ (А) и γ-ГХЦГ (Б), которые выпадали за летний сезон на поверхность водохранилищ Загорское и Счастливое, а также фактически измеренных их концентраций (нг/дм³) в этих водных объектах в августе – октябре.

Наличие выявленного соответствия свидетельствует о возможности использования описанной методики оценки потоков ХОП, поступающих на различные участки Крымского полуострова, для оценки значений данных показателей для периода, в котором их мониторинг не осуществлялся.

Из рис. 3 также видно, что межгодовым изменениям потоков обоих ХОП, выпадавших за летний сезон в районе г. Ялты, свойственно существенное подобие. Это позволяет предположить, что их носителями являются одни и те же частицы аэрозоля, «вымываемые» из атмосферы одними и теми же атмосферными осадками. Также нетрудно заметить, что в период, завершающийся 1997 г., в изменениях

потоков α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ преобладали тенденции к их увеличению, но после 1998 г. они сменились на противоположные.

Данная особенность соответствует представлениям [20], согласно которым на рубеже 1997 г. и 1998 г. в Северном полушарии произошла смена циркуляционных периодов, вследствие чего начиная с января 1998 г. в нем существенно активизировались меридиональные составляющие атмосферной циркуляции. В частности, в Крыму начиная с 1998 г. в летние месяцы возросла повторяемость южных ветров, доставляющих на сушу воздух с Черного моря [21], в котором концентрации ХОП весьма малы. Это, по-видимому, и вызвало снижение концентраций ХОП в выпадавших в тот период атмосферных осадках.

Следует отметить, что начиная с 2007 г. над Крымом все большую интенсивность летом приобретают атмосферные процессы, переносящие воздух в противоположном направлении [21]. Последнее позволяет предположить, что ныне в Крым летом увеличивается приток воздуха из южных регионов Украины, который содержит значительно больше пылевых частиц, а значит, и ХОП.

Аналогичные особенности проявились также в других районах Крыма.

При решении второй задачи с использованием верифицированной модели (1) для каждого участка территории Крымского полуострова, ограниченного квадратами координатной сетки размерами $0,1^\circ \times 0,1^\circ$, оценены потоки ХОП, которые за летние и зимние сезоны 2000–2013 гг. поступали на его поверхность с атмосферными осадками.

Основываясь на полученных при этом временных рядах, которые отображают межгодовые вариации данных потоков, оценены проявившиеся за период 2000–2013 гг. тенденции их изменения в летние и зимние месяцы. Их анализ позволил выявить районы, где оценки значений рассматриваемых показателей увеличивались, а также районы, где тенденции их межгодовой изменчивости были противоположными. Такие районы разграничивают изолинии рассматриваемых распределений, которым соответствуют нулевые значения углового коэффициента линейного тренда упомянутых временных рядов.

На рис. 4 в качестве примера показаны расположения указанных изолиний распределений по территории Крыма значений углового коэффициента линейного тренда временных рядов потоков α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ, которые поступали в летние месяцы на различные участки его поверхности с атмосферными осадками.

Как видно из рис. 4А, за период 2000–2013 гг. уменьшение рассматриваемых потоков α -ГХЦГ произошло на участке Южного берега от Симеиза до Коктебеля, прилегающих к нему грядам Крымских гор с их северными предгорьями и равнинными территориями Крыма вплоть до озера Сиваш, на всем Керченском полуострове, исключая его южное побережье, а также в районе пгт Черноморское (полуостров Тарханкут). Во всех остальных районах потоки рассматриваемого вещества возрастали.

Рис. 4Б показывает, что за то же время уменьшение поступавших за летние сезоны с атмосферными осадками на земную поверхность потоков γ -ГХЦГ произошло всюду, кроме участка Южного берега Крыма к западу от Симеиза, побережий Гераклеяского

полуострова (включая г. Севастополь), побережья Каламитского залива, прибрежных районов полуострова Тарханкут и северных районов Крыма.

Из сравнения рис. 4А и 4Б видно, что площадь территорий Крыма, где за период 2000-2013 гг. в летние месяцы происходило снижение потоков α -ГХЦГ меньше, чем его районов, где уменьшались потоки γ -ГХЦГ.

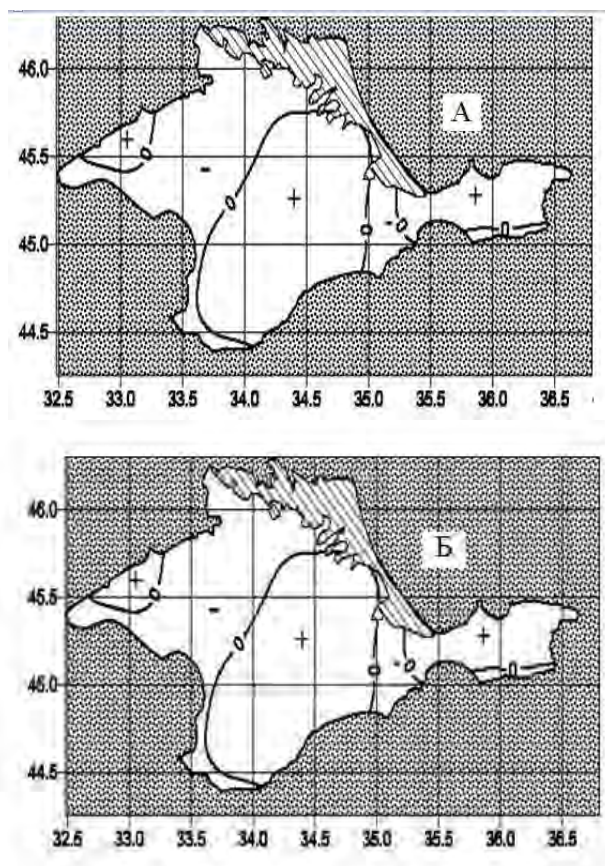


Рис. 4. Расположение границ, разделяющих участки территории Крыма, где за летние месяцы 2000–2013 гг. преобладали тенденции к увеличению (+) либо снижению (–) потоков α -ГХЦГ (А) и γ -ГХЦГ (Б), поступающих на земную поверхность с атмосферными осадками.

К числу возможных причин выявленного возрастания потоков данных ХОП в западных и северных районах Крымского полуострова может относиться упомянутое выше увеличение в период после 2007 г. интенсивности меридиональных составляющих атмосферной циркуляции, которые доставляют соответствующие частицы аэрозоля с севера (с территории Херсонской области

Украины). Не менее существенный вклад в него может оказывать и процесс ветровой эрозии почв, активизировавшийся на ряде участков территории Крыма, в том числе и участков, загрязненных пестицидами.

Расчитанные по результатам моделирования с учетом изменений интенсивности атмосферных осадков в летние месяцы 2000–2013 гг. распределения по территории Крыма суммарных за этот период потоков α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ отображены изолиниями на картах, представленных на рис. 5.

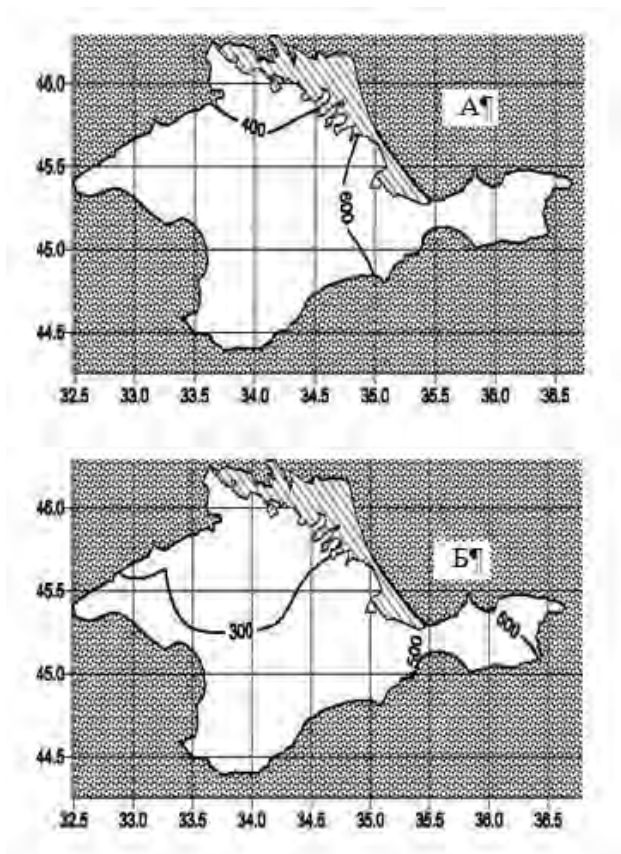


Рис. 5. Распределение в Крымском регионе суммарных за период 2000–2013 гг. потоков α -ГХЦГ (А) и γ -ГХЦГ (Б), поступавших в летние месяцы с атмосферными осадками на различные участки его поверхности.

Из рис. 5 следует, что оценки суммарных за период 2000–2013 гг. значений потоков обоих ХОП, которые с атмосферными осадками в соответствующие летние сезоны поступали на территорию различных районов Крыма, существенно зависят от их расположения. Они увеличиваются с северо-запада на юго-восток (от

Перекопа к Керченскому полуострову). Последнее соответствует представлениям [11], согласно которым концентрации в воздухе частиц терригенного аэрозоля – основных носителей рассматриваемых веществ – в летние месяцы тем больше, чем меньше суммы выпадающих в районе атмосферных осадков. При этом в летние месяцы значения потоков α -ГХЦГ всюду превосходили значения потоков γ -ГХЦГ.

Аналогичные исследования, выполненные для зимнего сезона, показали, что соответствующие ему значения потоков рассматриваемых ХОП в единицы раз меньше, чем их значения в тех же районах для летнего сезона. Наиболее интенсивная миграция ХОП в Крыму происходит летом.

Наименьшие уровни потоков α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ зимой соответствуют сильно заснеженным районам горного Крыма, а наибольшие – практически свободным от снега районам Южного берега Крыма.

В зимний сезон техногенные источники пылевых частиц, способных переносить ХОП (работают котельные), несколько активизируются, в то время как поток терригенных частиц аэрозоля с заснеженной суши значительно снижается. Поэтому данный результат указывает на преобладающее влияние в процессах загрязнения атмосферных осадков ХОП частиц терригенного аэрозоля.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как известно, в терригенном аэрозоле преобладают частицы гравитационной фракции, которые способны осаждаться на земную поверхность не только при выпадении атмосферных осадков, но и под действием собственного веса. Поэтому из полученных результатов видно, что немалое количество α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ способно поступать на земную поверхность и при «сухом» осаждении на нее подобной пыли.

Следовательно, полученные оценки потоков этих веществ, осаждающихся на поверхность различных районов Крыма с атмосферными осадками, фактически следует рассматривать лишь как оценки снизу значений их суммарных потоков, учитывающих не только «влажные», но и «сухие» выпадения, уровни которых (учитывая засушливость климата его степных территорий) могут быть значительно больше.

Как показано в таблице 2, концентрации α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ в атмосферных осадках, выпадающих в г. Севастополе, в современном периоде отнюдь не снижаются. Поэтому проблема защиты населения Крыма от опасностей, связанных с загрязнением его почв и вод (а значит и продуктов питания) подобными веществами, сохраняет свою актуальность [23]. Необходимым условием ее решения является создание в регионе системы мониторинга изменений концентрации α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ в водах и почвах.

Так как изменения концентраций ХОП в водах или почвах определяются динамикой их вещественного баланса, важным компонентом такой системы могла бы стать подсистема мониторинга суммарных потоков ХОП, осаждающихся на различных участках территории Крыма и уносимых с них ветром (при эоловой эрозии их почв). При ее создании логично использовать опыт и имеющееся оборудование СО ГОИН.

Учитывая возможности переноса частиц терригенного аэрозоля (а значит, и ХОП) ветром, для предотвращения загрязнения ими вод и почв Крыма, а также снижения онкологической заболеваемости населения региона необходимо активизировать борьбу с запыленностью его воздушной среды.

Так как переносу по воздуху любых частиц почвы, в том числе и частиц, содержащих α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ, препятствует растительность, эффективным способом борьбы с загрязнением почв и вод региона этими веществами может служить озеленение его территории.

Увеличение интенсивности эоловой эрозии почв, которое в XXI веке происходит в степных районах как Крыма, так и Украины [24], приводит к активизации миграции терригенных пылевых частиц, которые являются существенным источником α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ. Способствует этому и усиление в период после 2007 г. составляющих атмосферной циркуляции, обеспечивающих перенос над Крымом воздуха с северных румбов. Следовательно, уменьшению интенсивности загрязнения атмосферных осадков в Крыму, а также его территорий и акваторий такими веществами как ХОП могло бы способствовать восстановление в регионе лесозащитных полос, которое является проверенным и радикальным способом борьбы с эоловой эрозией.

ВЫВОДЫ

Таким образом, установлено:

1. Актуальной проблемой экологической безопасности Крыма является воссоздание в регионе системы мониторинга изменчивости концентраций α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ в его почвах и водах, важным компонентом которой могла бы стать подсистема наблюдения за потоками ХОП, которые поступают на различные участки их территорий либо с атмосферными осадками, либо при сухих выпадениях, а также удаляются с них в процессе ветровой эрозии.

2. Учет изменчивости интенсивности атмосферных осадков, которые выпадают в летние и зимние сезоны на территорию различных районов Крыма, позволяет осуществить моделирование и прогнозирование межгодовых вариаций потоков этих веществ, которые обусловлены лишь «влажными» выпадениями.

3. Несмотря на действующий запрет применения ХОП в сельском хозяйстве, ощутимого снижения потоков этих веществ, которые поступают с атмосферными осадками на земную поверхность, в г. Севастополе и многих районах Крыма в XXI веке не выявлено. Это свидетельствует о том, что ныне в некоторых районах Крымского полуострова происходит увеличение их концентраций в почвах и водоемах, которое может являться причиной роста онкологической заболеваемости их населения. Такие районы нужно и можно выявить при соответствующей организации подобной работы.

4. В летние месяцы потоки выпадающих с атмосферными осадками ХОП в единицы раз больше, чем в зимние. Это указывает на существенную роль в миграции рассматриваемых веществ в регионе процесса эоловой эрозии почв степных районов Крыма, а также Украины.

Список литературы

1. Мельников Н. Н., Белан С. Р. Органические соединения хлора в окружающей среде // *Агрохимия*. 1998. № 10. С. 83–93.
2. Landrigan P. J., Benbrook C. GMOs, Herbicides, and Public Health // *N. Engl. J. Med.* 2015. 373. P. 693–695.
3. Ибрагимова Э. Э. Оценка экологической опасности остаточных количеств пестицидов, широко применяемых в земледелии Крыма // *Культура народов Причерноморья*. 2005. № 73. С. 151–155.
4. Галиулин Р. В. Концептуальное моделирование поведения пестицидов в системе почва – вода – донные отложения // *Агрохимия*. 1999. № 4. С. 81–92.
5. Мельников Н. Н., Белан С. Р. Об экотоксичности некоторых современных пестицидов // *Защита и карантин растений*. 1998. № 9. С. 10–20.
6. Ганиев М. М., Недорезков В. Д. Химические средства защиты растений. М.: Колос, 2006. 248 с.
7. Den Hond F., Groenewegen P., Straalen N. Pesticides: Problems, Improvement, Alternatives. John Wiley & Sons, 2008. 272 p.
8. Larramendy M. L., Soloneski S. Pesticides: Toxic Aspects. [Open Access Download available]. 2014. 230 p.
9. Levine M. J. Pesticides: A Toxic Time Bomb in Our Midst. Greenwood Publishing Group, 2007. 256 p.
10. Соколов М. С. Экологические последствия применения агрохимикатов [пестициды] / Научный центр биологических исследований (Академия наук СССР), Научный совет по проблемам биосферы (Академия наук СССР), Советский комитет по программе ЮНЕСКО. Человек и биосфера. 1982. 193 с.
11. Ивлев Л. С., Довгалюк Ю. А. Физика атмосферных аэрозольных систем. СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. 194 с.
12. Pruppacher H., Klett J. D. *Microphysics of Clouds and Precipitation*. D. Reidel Publ. Co., 1978, 714 p.
13. Khan M. S., Rahman M. S. Pesticide residue in foods. Sources, Management, and Control. Springer International Publishing AG. 2017. 195 p.
14. Дегтярев А. Х., Рябинин А. И., Филиппов Е. М. Ядерно-физические исследования в океанографии. М.: Московское отделение Гидрометеоздата, 1991. 278 с.
15. Чайкина А. В., Холопцев А. В. О факторах динамики загрязнения атмосферных осадков микроэлементами (на примере изменчивости концентраций соединений азота в атмосферных осадках, выпавших в летний период 2004 г. в районе пос. Качивели) / Сб. «Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон». Севастополь: МГИ НАНУ, 2005. С. 287–295.
16. Айвазян С. А. Прикладная статистика. Основы эконометрики. Т. 2. М.: Юнити-Дана, 2001. 432 с.
17. База данных результатов реанализа месячных сумм атмосферных осадков. [Электронный ресурс]. Режим доступа: ftp://ftp-anon.dwd.de/pub/data/gpc/htm/download_gate.html.
18. Руководство по химическому анализу морских вод. РД52.10.243-92. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. 246 с.
19. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение. Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2002. 128 с.
20. Кононова Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому. М.: Воентехиздат, 2009. 372 с.
21. Горбунов Р. В., Горбунова Т. Ю., Калиновский П. С. Роль циркуляции атмосферы в изменении температуры воздуха на территории Крымского полуострова в XX веке – начале XXI века // *Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова*. СПб. 2016. С. 175–198.
22. Rudnick R. L., Gao S. Composition of the continental crust // *Treatise on Geochemistry*. Vol. 3. The Crust. Amsterdam: Elsevier, 2004. P. 1–64.
23. Итоговый отчет о состоянии здоровья населения и организации здравоохранения Республики Крым по итогам деятельности отрасли в 2014 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://mzdrav.rk.gov.ru/rus/file/mzdrav_Otchet_o_deyatelnosti_Ministerstva_2014.pdf.
24. Ергина Е. И., Тронза Г. Е. Современное почвенно-экологическое состояние Крымского полуострова // *Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология*. 2016. Т. 2 (68). № 3. С. 196–203.

**MODELING AND EVALUATION OF FLOWS OF PESTICIDES,
THICH FELL IN VARIOUS AREAS OF CRIMEA WITH PRECIPITATIONS AT THE
XICENTURY**

Kholoptsev A. V., Ryabinin A. I., Climenko N. P.

*Sevastopol Branch of N.N. Zubov State Oceanographic Institute
E-mail: Kholoptsev@mail.ru*

The results of monitoring the interannual changes in the concentrations of organochlorine pesticides in atmospheric precipitation, which fell in Sevastopol in 1993-2005, are considered. They suggest, that current migration through the atmosphere of these substances from the contaminated areas can promote the growth of cancer incidence population of Crimea. The mathematical model of concentrations specified pesticides in precipitation depending of their intensity, which based on the data of said monitor, are verified. The trends of variability in the 21st century of the flows of these substances, which revealed in various regions of the Crimea, have been revealed. The total values of their flows for this period are estimated.

Keywords: Crimea, pesticides, precipitation, flow, simulation, concentration, trend.

References

1. Melnikov N. N., Belan S. R. Organicheskie soedinenija hlora v okruzhajuschej sredе (Organic compounds of chlorine in the environment). *Agrohimiya*, 1998. no. 10. pp. 83–93.
2. Landrigan P. J., Benbrook C. GMOs, Herbicides, and Public Health. *N. Engl. J. Med.* 2015. 373. P. 693-695.
3. Ibragimova E. E. Ocenka ekologicheskoi opasnosti ostatkov kolichestv pesticidov shirokoprимenjaemyh v zemledelii Kryma (Estimation of ecological danger of residues of pesticides widely used in agriculture of the Crimea). *Kulturanarodov Prichernomorja*. 2005. no. 73. pp. 151–155.
4. Galiullin R. V. Konceptualnoe modelirovanie povedenija pesticidov v sisteme pochva-voda-donnye otlozhenija (Conceptual modeling of pesticide behavior in the soil-water-bottom sediment system). *Agrohimiya*. 1999. no. 4. pp. 81–92.
5. Melnikov N. N., Belan S. R. Ob ekotoksichnostinekotoryh sovremennyh pesticidov (On ecotoxicity of some modern pesticides) *Zashchita karantin rastenii*. 1998. no. 9. pp. 10–20.
6. Ganiev M. M., Nedozekov V. D. Himicheskie sredstva zashchity rastenii (Chemical means of plant protection) Moscow: Kolos (Publ.), 2006. 248 p.
7. Den Hond F., Groenewegen P., Straalen N. Pesticides: Problems, Improvements. Alternatives: John Wiley & Sons (Publ.), 2008. 272 p.
8. Larramendy M. L., Soloneski S. Pesticides: Toxic Aspects. [Open Access Download available]. 2014. 230 p.
9. Levine M. J. Pesticides: A Toxic Time Bomb in Our Midst. Greenwood Publishing Group, 2007. 256 p.
10. Sokolov M. S. Ekologicheskie posledstviya primeneniya agrohimikatov [pesticydy] (Ecological consequences of the application of agrochemicals [pesticides]) *Nauchnyy tsentr biologicheskikh issledovaniy (Akademijanauk SSSR), Nauchnyy sovet po problemam biosfery (biologicheskikh issledovaniy) (Akademijanauk SSSR), Sovetskii komitet po programme UNESCO Cheloveki Biosfera*. 1982. 193 p.
11. Ivlev L. S., Dovgaluk J. A. Fizika atmosfery i aerosolnyy sistem (Physics of Atmospheric Aerosol Systems). Spb.: NIIFh CPbGU (Publ.), 1999. 194 p.

12. Pruppacher H., Klett J. D. Microphysics of Clouds and Precipitation. D. Reidel. Publ. Co., 1978. 714 p.
13. Khan M. S., Rahman M. S. Pesticide residue in foods. Sources, Management, and Control. Springer International Publishing AG, 2017. 195p.
14. Degtjarev A. H., Rjabinin A. I., Filippov E. M. Jaderno-fizicheskie issledovanija v okeanografi (Nuclear-physical research in oceanography). Moscow: Moskovskoe otdelenie Gidrometeoizdata (Publ.), 1991. 278p.
15. Chaikina A. V., Holopcev A. V. Ofaktorah dinamiki zagrjaznenija atmosfery hosadkov mikroelementami (naprimere izmenenija koncentracii soedinenij azota v atmosfery hosadkah, vypadajuschih v letnij period 2004 g. v raione pos. Kaciveli) (About the factors of the dynamics of pollution of atmospheric precipitation by microelements (for example, the variability of nitrogen compounds concentrations in atmospheric precipitation that fell out in summer 2004 in the area of Katsiveli settlement)) Sb. «Ekologicheskaja bezopasnost pribrezhnoj shelfoivozon». Sevastopol: MGINANU (Publ.), 2005, pp. 287-295.
16. Aivazjan S. A. Prikladnaja statistika. Osnovy ekonometriki (Applied statistics. Fundamentals of Econometrics). T. 2. Moscow: Unity-Dana (Publ.), 2001. 432p.
17. Bazadannyye: Rezultaty reanaliz mesyachnykh summ atmosfery hosadkov (Database of the results of the reanalysis of monthly precipitation sums). [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: ftp://ftp-anon.dwd.de/pub/data/gpcc/htm/download_gate.html
18. Rukovodstvo po himicheskomu analizu morskikh vod (Guidelines for the chemical analysis of marine waters). RD52.10.243-92. SPb: Gidrometeoizdat (Publ.), 1993. 246p.
19. Skvorcov A. V. Trianguljacija Deloneie primenenie (Delanay triangulation and its application.) Tomsk: Izd-vo Tomskogo gosudarstvennogo universiteta (Publ.), 2002. 128 p.
20. Kononova N. K. Klassifikacija cirkulacionnykh mehanizmov Severnogo Polusharija po B. L. Dzerdzeevskomu (Classification of the circulation mechanisms of the Northern Hemisphere according to B. L. Dzerdzeevsky) Moscow: Voentehizdat (Publ.), 2009. 372s.
21. Gorbunov R. V., Gorbunova T. J., Kalinovskii P. S. Rol cirkuljacii atmosfery v izmenenii temperatury vozduha na territorii Krymskogo poluostrova v XX veke – nachale XXI veka (The role of atmospheric circulation in air temperature change on the territory of the Crimean peninsula in the XX century and the beginning of the XXI st century) .Trudy Glavnojeofizicheskoj observatorij im. A. I. Voeikova. SPb, 2016. pp. 175-198.
22. Rudnick R. L., Gao S. Composition of the continental crust. Treatise on Geochemistry. Vol. 3. The Crust. Amsterdam: Elsevier, 2004. P. 1–64.
23. Itogovyj otchet o sostojanii zdorov'ja naselenija i organizacii zdravoohraneniya Respubliki Krym po itogam dejatel'nosti v 2014 godu (The final report of the health of the population and the health organization of the Republic of Karelia on the basis of activities in 2014) [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: http://mzdrav.rk.gov.ru/rus/file/mzdrav_otchet_o_dejatelnosti_ministerstva_2014.pdf
24. Ergina E. I., Tronza G. E. Sovremennoepochvenno-ekologicheskoe sostojanie Krymskogo poluostrova (Modern soil-ecological state of the Crimean peninsula) // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografija. Geologija. 2016. Tom 2 (68). no. 3. pp. 196–203.

Поступила в редакцию 12.08.2017