

*С. Е. Витковская, О. В. Хофман*

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ (на примере полевого опыта)

### Введение

За последние 100 лет население Земли возросло почти в 4 раза. Процесс увеличения численности населения ставит перед человечеством первоочередную задачу — обеспечение продовольствием. Мировой спрос на продовольствие будет неуклонно возрастать, так как по прогнозам к середине XXI в. численность населения на Земле достигнет 10–12 млрд человек. Для обеспечения населения продуктами питания неминуемо потребуются увеличение продуктивности сельскохозяйственного производства и ввод в сельскохозяйственный оборот новых земель.

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур — важнейшая задача Агропромышленного комплекса РФ. Наряду с использованием новых разработок в семеноводстве, агротехнике и системе земледелия будут возрастать дозы вносимых агрохимикатов. Этот процесс повлечет за собой увеличение концентраций примесных элементов, пестицидов и нитратного азота в системе почва—растение, фосфора в агроземах, усиление воздействия на сопредельные среды. Возрастание доз агрохимикатов возможно до определенного предела, определяющего емкость агроэкосистемы по отношению к веществам, вносимым в почву, и безопасность продукции, получаемой в данной агроэкосистеме. Этот предел возможно установить только по результатам оценки экологического риска, связанного с использованием агрохимикатов. Изменение качественного состава пахотных почв происходит также в зонах воздействия крупных промышленных объектов, автомагистралей и радиационно-опасных объектов.

Скорость изменения качественного состава агроземов будет зависеть от трех основных параметров:

1) интенсивность поступления загрязняющих веществ в почву с удобрениями, мелиорантами, атмосферными выпадениями ( $\text{г/кг} \cdot \text{год}^{-1}$ );

2) скорость выноса ( $V$ ) примесных элементов растениями и водами, которую можно представить уравнением факторов, определяющих вынос элементов из почвы:

$$V = t(W, B, (Y, KH)),$$

где  $V$  — вынос элемента с водами и растениями за период времени  $t$ ,  $W$  — водный режим почв,  $B$  — буферная способность почв,  $Y$  — урожайность сельскохозяйственных культур,  $KH$  — коэффициенты накопления химических элементов растениями (отношение концентрации элемента в растениях к концентрации в почве);

---

*Витковская Светлана Евгеньевна* — д-р биол. наук, ГНУ Агрофизический научно-исследовательский институт Россельхозакадемии; e-mail: s.vitkovskaya@mail.ru

*Хофман Ольга Викторовна* — аспирант, ГНУ Агрофизический научно-исследовательский институт Россельхозакадемии; e-mail: olga.hofman86@mail.ru

© С. Е. Витковская, О. В. Хофман, 2013

3) длительность использования конкретной почвы в сельскохозяйственном производстве (лет).

Прогноз изменения качественного состава агроэкосистем может быть только адресным по отношению к определенной территории, характеризующейся однотипными почвенно-климатическими условиями. Важным условием является знание агрономической истории данной территории.

Конечная цель прогноза экологического состояния агроэкосистем — обеспечение продовольственной безопасности на основе долгосрочного прогноза изменения качества сельскохозяйственной продукции в процессе интенсификации сельскохозяйственного производства и оценки риска здоровью от употребления такой продукции.

С целью оценки и прогноза экологического состояния окультуренной дерново-подзолистой почвы проводили исследования в условиях стационарного полевого опыта. Задачи исследования: 1) сформулировать критерии оценки экологического состояния агроэкосистем; 2) установить степень изменения морфологических признаков и химического состава дерново-подзолистой почвы при окультуривании; 3) оценить продуктивность угодья; 4) определить соответствие качества урожая (картофель) санитарным нормам; 5) рассчитать риск здоровью при поступлении кадмия и мышьяка в организм человека с картофелем.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлся стационарный полевой опыт, заложенный в 2006 г. на хорошо окультуренной дерново-слабоподзолистой легкосуглинистой почве на красноцветной морене. В течение трех предшествующих лет на участке площадью 1,5 га были созданы 3 парцеллы (площадью 0,5 га каждая), различающиеся дозами внесенных органических удобрений: 1) органические удобрения не вносили; 2) за 3 года внесено 160 т/га органических удобрений (по 80 т в 2003 и 2004 гг.), 1 т/га извести в 2005 г.; 3) за 3 года внесено 520 т/га органических удобрений (160, 320 и 40 т в 2003, 2004 и 2005 гг. соответственно), 3 т/га извести в 2005 г. В 2006 г. парцеллы разбили на три повторности, каждая из которых включает три делянки, различающиеся дозами ежегодно вносимых минеральных удобрений. Длина каждой делянки составляет 43 м, ширина — 5,5 м. Осенью 2009 г. было проведено очередное внесение органических удобрений: на 2-й парцелле — 80 т/га, на 3-й парцелле — 160 т/га.

В 2010 г. в качестве объекта исследований была выбрана 2-я повторность на 2-й парцелле, которая включала следующие варианты: 1) N70P20K60; 2) N90P40K100; 3) N100P50K110. Выращивали картофель сорта «Невский», элита.

Для отбора почвенных и растительных проб на каждой делянке была выделена одна борозда. На линиях опробования через каждые 2 м учитывали массу и количество клубней с одного растения [1]. На каждой линии опробования был проведен учет с 21 растения. Индивидуальные почвенные пробы отбирали в точке учета после изъятия клубней (600 мл). Почвенные пробы были отобраны также в прилегающем лесном массиве. Пробы отбирали из прикопок с глубины 3–30 см от поверхности почвы. В лесном массиве было отобрано 8 индивидуальных почвенных проб.

Осенью 2011 г. было проведено сравнение морфологических признаков пахотной и нативной (прилегающий лесной массив) почв: на каждой из трех парцелл и в лесном массиве были заложены почвенные разрезы.

В почвенных образцах определяли:  $pH_{KCl}$  — потенциометрическим методом, содержание обменного  $Ca^{2+}$  — согласно ГОСТ 26487-85 [2], содержание подвижных соединений фосфора и калия в почве устанавливали по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО, содержание нитратного азота — ионселективным методом, обменного аммония — согласно ГОСТ 26489-85 [3]. Содержание органического вещества в почве определяли по ГОСТ 26213-91 [4]. Валовое содержание кальция, фосфора, азота и калия в картофеле устанавливали после мокрого озоления. Озоление проводили по методу Гинзбург—Лебедевой ( $H_2SO_4 + HClO_4$ , 10:1) [5]. Содержание кальция определяли комплексонометрическим методом, фосфора — колориметрическим методом по Дениже, азота — по Несслеру, калия — фотометрическим методом. Содержание ТМ в картофеле устанавливали согласно ГОСТ 30178-96 [6], мышьяка — согласно ГОСТ 26930-86 [7]. Содержание ТМ в почве определяли атомно-абсорбционным методом [8]. Подвижные соединения ТМ извлекали ацетатно-аммонийным буферным раствором с  $pH$  4,8.

### Результаты исследований и их обсуждение

Экологическое состояние агроэкосистемы можно оценить по следующим критериям: 1) изменение морфологических признаков при окультуривании почвы (сравнение морфологических признаков пахотной и нативной почв); 2) уровни кислотности и содержания гумуса и элементов питания в пахотном слое; 3) содержание экотоксикантов в пахотной и нативной почвах; 4) соответствие сельскохозяйственной продукции санитарным нормам; 5) риск здоровью от употребления полученной продукции.

Сравнительно-морфологическое исследование показало, что при окультуривании дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы основные изменения в строении почвенного профиля коснулись верхних 40 см. Формирование  $A_{max} + A_1A_2$  (30 см) произошло за счет горизонтов  $A_0$ ,  $A_1$  и частично —  $A_2B$ . Основные различия химического состава верхних горизонтов следует ожидать в пределах 0–50 см.

Содержание химических элементов в верхнем слое нативной почвы (под лесной подстилкой или дерниной) логично принимать за фоновое содержание. При этом должны соблюдаться два условия: 1) генетическое сходство пахотной и нативной почв; 2) отсутствие интенсивного воздействия промышленных объектов.

Установлено, что содержание подвижного фосфора в пахотном слое дерново-подзолистой почвы в 7–9 раз превысило содержание этого элемента в верхнем слое нативной почвы. Фактор окультуривания закономерно повлиял и на другие агрохимические параметры почвы: реакция почвы изменилась от сильнокислой до близкой к нейтральной, содержание обменного калия возросло в 3 раза, нитратного азота — в 6 раз, содержание обменных соединений  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  увеличилось в 1,8–2,5 и 2,6 раза соответственно. Варьирование всех тестируемых параметров в нативной почве существенно превысило их варьирование в пахотном слое (табл. 1). Накопление фосфора в пахотной почве можно принять за один из основных показателей интенсивности воздействия на агроэкосистему. Согласно классификации В. А. Семенова [9] по реакции почвы, содержанию подвижного фосфора и обменного калия почву тестируемого участка можно идентифицировать как хорошо окультуренную.

Установлено, что содержание всех тестируемых ТМ в пахотном слое почвы было существенно ниже предельно-допустимых норм (табл. 2.). В пахотной почве

Таблица 1. Неоднородность агрохимических параметров почвы

Вариант	<i>n</i>	<i>M</i>	$\pm\delta$	min	max	<i>v</i> , %
рН						
1. N70P20K60	21	5,91	0,24	5,4	6,2	4
2. N90P40K100	21	5,98	0,18	5,6	6,3	3
3. N100P50K110	21	5,94	0,20	5,5	6,2	3
<i>Нативная почва</i>	8	4,12	0,24	3,8	4,6	6
Органическое вещество, %						
1. N70P20K60	21	4,0	0,5	2,9	4,7	12
2. N90P40K100	21	4,1	0,3	3,4	4,7	7
3. N100P50K110	21	4,0	0,4	3,5	4,8	10
<i>Нативная почва</i>	8	3,7	2,2	1,4	7,8	59
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг						
1. N70P20K60	21	485	99	240	631	20
2. N90P40K100	21	448	57	328	523	13
3. N100P50K110	21	528	92	347	637	17
<i>Нативная почва</i>	8	59	42	22	135	71
K <sub>2</sub> O, мг/кг						
1. N70P20K60	21	283	71	150	494	25
2. N90P40K100	21	254	51	183	360	20
3. N100P50K110	21	253	44	177	317	17
<i>Нативная почва</i>	8	85	30	48	123	35
N-NO <sub>3</sub> , мг/кг						
1. N70P20K60	21	19	2	16	22	10
2. N90P40K100	21	17	1	16	21	6
3. N100P50K110	21	19	1	17	21	5
<i>Нативная почва</i>	8	3	0,5	2,3	4	17
N-NH <sub>4</sub> , мг/кг						
1. N70P20K60	21	5,8	1,5	3,2	9,6	26
2. N90P40K100	21	10	3	3,9	19	30
3. N100P50K110	21	5,5	1,6	3,3	9,0	29
<i>Нативная почва</i>	8	9,7	5,4	4,1	21	56
Ca <sup>2+</sup> , ммоль/100 г						
1. N70P20K60	21	5,2	0,4	4,2	5,7	8
2. N90P40K100	21	5,6	0,7	4,7	7,1	12
3. N100P50K110	21	7,1	0,8	6,0	8,4	11
<i>Нативная почва</i>	8	2,8	1,7	0,9	6,0	62
Mg <sup>2+</sup> , ммоль/100 г						
1. N70P20K60	21	1,30	0,06	1,12	1,34	5
2. N90P40K100	21	1,31	0,02	1,28	1,35	1,3
3. N100P50K110	21	1,32	0,06	1,17	1,39	4,5
<i>Нативная почва</i>	8	0,49	0,34	0,16	1,02	69

Примечание. *n* — количество почвенных проб, шт; *M* — среднее значение;  $\pm\delta$  — стандартное отклонение; *v*, % — коэффициент вариации (то же для табл. 2–4).

Таблица 2. Вариационно-статистические показатели, характеризующие неоднородность содержания ТМ в почве (мг/кг)

Вариант	<i>n</i>	<i>M</i>	$\pm\delta$	min	max	<i>v</i> , %
<b>Zn<sub>вал.</sub></b>						
1. N70P20K60	21	25	2	19	28	8
2. N90P40K100	21	26	1,3	23	28	5
3. N100P50K110	21	23	1,0	21	26	4
<i>Нативная почва</i>	8	19	3	16	25	16
<b>Zn<sub>подв.</sub> (ПДК 23 мг/кг)</b>						
1. N70P20K60	21	1,24	0,46	0,3	2,16	37
2. N90P40K100	21	0,79	0,21	0,45	1,25	26
3. N100P50K110	21	0,73	0,21	0,45	1,27	29
<i>Нативная почва</i>	8	0,81	0,3	0,43	1,26	37
<b>Cu<sub>вал.</sub></b>						
1. N70P20K60	21	3,7	0,3	3,1	4,5	8
2. N90P40K100	21	3,3	0,4	2,5	4,1	12
3. N100P50K110	21	3,0	0,4	2,3	3,9	13
<i>Нативная почва</i>	8	2,4	0,6	1,26	3,44	25
<b>Pb<sub>вал.</sub> (ПДК 32 мг/кг)</b>						
1. N70P20K60	21	10,9	1,2	8,0	17,9	11
2. N90P40K100	21	7,5	2,1	3,3	12,6	28
3. N100P50K110	21	6,8	1,8	3,4	10,6	26
<i>Нативная почва</i>	8	6,9	1,8	3,5	9,2	26
<b>Pb<sub>подв.</sub></b>						
1. N70P20K60	21	2,1	0,6	1,0	3,3	28
2. N90P40K100	21	1,2	0,3	1,0	2,1	25
3. N100P50K110	21	1,3	0,6	1,0	2,8	44
<i>Нативная почва</i>	8	1,7	0,9	1,0	3,1	50
<b>Cd<sub>подв.</sub> (ОДК<sub>вал.</sub> 0,5 мг/кг)</b>						
1. N70P20K60	21	0,05	0,03	0,01	0,10	60
2. N90P40K100	21	0,03	0,02	0,01	0,06	67
3. N100P50K110	21	0,03	0,02	0,01	0,08	67
<i>Нативная почва</i>	8	0,09	0,04	0,02	0,14	44
<b>As<sub>вал.</sub> (ПДК 2,0 мг/кг)</b>						
1. N70P20K60	21	1,22	0,22	0,94	1,69	18
2. N90P40K100	21	1,04	0,07	0,95	1,23	7
3. N100P50K110	21	0,95	0,09	0,84	1,26	9
<i>Нативная почва</i>	8	1,07	0,38	0,83	2,0	35

по сравнению с нативной достоверно возросло валовое содержание Zn и Cu на 17–27% и 27–35% соответственно.

Не выявлено достоверных различий по содержанию свинца в пахотной и нативной почвах. С возрастанием буферной способности почв подвижность свинца снизилась на 6–9%: в вариантах 1–3 доля свинца, экстрагируемая ацетатно-аммонийным буфером, составила 19, 16 и 19% соответственно, в нативной почве — 25%.

Проведенные исследования позволили констатировать высокий уровень неоднородности массы и количества клубней с одного растения картофеля в пределах делянки полевого опыта: коэффициенты вариации данных показателей составили 42–59% и 40–50% соответственно (табл. 3). При норме посадки 50 тыс. клубней на 1 га средняя по трем вариантам урожайность соответствовала пределу  $30 \pm 16$  т/га. Следовательно, продуктивность угодья можно оценить как хорошую, основываясь на данных по урожайности отечественных и зарубежных сортов картофеля [10, 11].

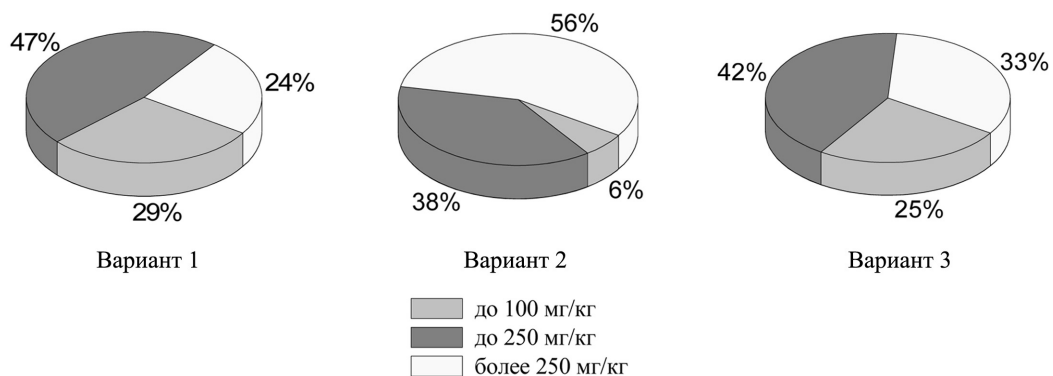
Таблица 3. Вариационно-статистические показатели, характеризующие пестроту количества и массы клубней картофеля

Показатель	<i>n</i>	<i>M</i>	$\pm \delta$	min	max	<i>v</i> ,%
<i>Вариант 1 (N70P20K60)</i>						
Масса клубней, г	21	677	285	92	1083	42
Количество клубней, шт.	21	10	5	3	19	50
<i>Вариант 2 (N90P40K100)</i>						
Масса клубней, г	21	594	350	46	1378	59
Количество клубней, шт.	21	10	4	2	18	40
<i>Вариант 3 (N100P50K110)</i>						
Масса клубней, г	21	548	319	128	1218	58
Количество клубней, шт.	21	9	4	2	18	44

Концентрация N–NO<sub>3</sub> в картофеле варьировала в широких пределах — от 33 до 824 мг/кг, коэффициенты вариации составили 58, 70 и 73% в вариантах 1–3 соответственно. Внесение азотных удобрений привело к превышению ПДК нитратов в картофеле (250 мг/кг) в вариантах 1–3 в 24, 56 и 33% проб соответственно (рисунок).

Средняя концентрация свинца в исследованных клубнях была в 1,3–5 раз ниже санитарных норм (МДУ Pb — 0,5 мг/кг), однако в вариантах 1 и 2 превышение МДУ выявлено в 6 и 33% проб (табл. 4). Средняя концентрация кадмия достигла МДУ (0,03 мг/кг) только в варианте 2, но превышение МДУ в отдельных пробах наблюдали во всех вариантах опыта: в вариантах 1–3 допустимый уровень содержания кадмия был превышен в 29, 47 и 20% проб соответственно. Концентрация мышьяка в клубнях варьировала от 0,01 до 0,11 (МДУ As — 0,2 мг/кг).

Не выявлено корреляционной зависимости между содержанием ТМ и мышьяка в почве и картофеле. Связано это, по-видимому, с тем, что накопление элементов растениями определяется множеством факторов, характеризующих изменчивость условий среды и особенностей роста и развития каждой единицы посевного материала.



Неоднородность содержания нитратного азота в картофеле

Таблица 4. Вариационно-статистические показатели, характеризующие неоднородность содержания ТМ в картофеле, мг/кг сырой массы

Вариант	<i>n</i>	<i>M</i>	$\pm \delta$	min	max	<i>v</i> , %
Zn						
1. N70P20K60	15	5,6	2,9	2,5	15	52
2. N90P40K100	15	5,6	2,1	3,8	12	37
3. N100P50K110	15	4,8	1,8	2,4	9,4	37
Cu						
1. N70P20K60	15	1,8	0,9	0,5	3,9	50
2. N90P40K100	15	1,3	0,5	0,5	2,0	38
3. N100P50K110	15	0,7	0,2	0,4	1,2	28
Pb						
1. N70P20K60	15	0,18	0,17	0,01	0,56	94
2. N90P40K100	15	0,37	0,25	0,01	0,76	67
3. N100P50K110	15	0,10	0,10	0,01	0,29	100
Cd						
1. N70P20K60	15	0,02	0,01	0,01	0,04	50
2. N90P40K100	15	0,03	0,02	0,01	0,07	67
3. N100P50K110	15	0,02	0,02	0,01	0,07	100
As						
1. N70P20K60	15	0,05	0,03	0,01	0,11	60
2. N90P40K100	15	0,04	0,02	0,01	0,09	50
3. N100P50K110	15	<0,01	-	-	-	-

Коэффициенты накопления (КН) представляют собой отношение содержания элемента в растении к его содержанию в почве. КН Zn и Pb картофелем, рассчитанные по отношению к содержанию подвижных соединений данных элементов в почве, были существенно выше, чем КН, рассчитанные по отношению к их валовому содержанию (см. табл. 5). Так, КН Zn (подв.) оказались более чем в 23 раза выше, чем КН Zn (вал.), для Pb различие значений КН не превысило 5–7 раз (табл. 5).

Таблица 5. Коэффициенты накопления ТМ картофелем (на сырую массу)

Вариант	КН Zn		КН Pb		КН <sub>1</sub> Cu	КН <sub>1</sub> As
	1	2	1	2		
1-й	0,22±0,11	5,1±3,1	0,018±0,018	0,098±0,1	0,50±0,25	0,04±0,03
2-й	0,21±0,08	6,5±1,6	0,07±0,05	0,35±0,19	0,44±0,16	0,04±0,02
3-й	0,21±0,08	6,48±1,9	0,014±0,014	0,10±0,08	0,23±0,08	< 0,01

Примечание. 1 и 2 — КН по отношению к валовому содержанию и содержанию подвижных соединений металла соответственно.

Для расчета риска здоровью, обусловленного присутствием в пище экотоксикантов, необходимо знать: 1) концентрацию химического элемента в продукте питания; 2) среднее количество потребляемого продукта, кг·год<sup>-1</sup>; 3) продолжительность употребления в пищу продукта; 4) пороговую мощность дозы металла.

В 2010 г. Минздравом РФ утверждены рациональные нормы потребления пищевых продуктов [12], которые могут быть использованы при оценке риска. Единица мощности пороговой дозы (мг/кг·сут<sup>-1</sup>) связана с зависимостью воздействия поступающего в организм токсиканта от массы тела. Пред тем как зафиксировать значение этой дозы для людей, проводятся опыты на различных видах животных [13]. Значения пороговых мощностей доз (H<sub>D</sub>), отвечающих за формирование неканцерогенных эффектов для Cd и As при поступлении их с пищей составляют 1·10<sup>-3</sup> и 3·10<sup>-4</sup> мг/кг·сут<sup>-1</sup> соответственно [14].

Агентством по охране окружающей среды США отработаны алгоритмы и фиксированные показатели для расчета риска здоровью [13, 14]. Среднесуточное поступление токсиканта с пищей, приведенное на 1 кг массы тела, рассчитывается по формуле:

$$m = \frac{C \cdot M \cdot T_p}{P \cdot T},$$

где  $C$  — концентрация токсиканта в пищевом продукте,  $M$  — количество продукта, потребляемое за 1 год,  $T_p$  — количество лет, в течение которых потребляется продукт;  $P$  — масса тела (принимается 70 кг);  $T$  — усредненное время воздействия токсиканта — (или средняя продолжительность возможного воздействия токсиканта за время жизни человека, принимаемое равным 30 годам (10 950 сут)).

Затем рассчитывается величина, называемая индексом опасности (HQ):

$$HQ = \frac{m}{H_D},$$



где  $H_D$  — пороговая мощность дозы,  $\text{мг/кг} \cdot \text{сут}^{-1}$ ;  $m$  — среднесуточное поступление токсиканта с пищей.

Если  $HQ < 1$ , то опасности для здоровья, связанной с неканцерогенными эффектами, нет. Если  $HQ > 1$ , то существует опасность, которая тем больше, чем больше  $HQ$  превышает единицу.

Если в продуктах, воде или воздухе содержится несколько токсикантов, то полный индекс опасности равен сумме индексов опасности отдельных компонентов. Опасности нет, если сумма  $HQ$  не превышает единицы:

$$HQ_p = HQ_1 + HQ_2 + HQ_3 + \dots + HQ_n < 1.$$

Расчет индексов опасности позволяет выявить, например, существует ли риск здоровью при длительном употреблении продуктов питания с содержанием тяжелых металлов и мышьяка на уровне установленных в России ПДК.

В качестве примера приведем рассчитанные нами показатели характеристики риска угрозы здоровью при поступлении кадмия и мышьяка в организм человека с картофелем. Расчет проводили по представленным выше формулам, принимая, что количество данных продуктов, потребляемых за год, приближено к рекомендуемым в РФ нормам и составляет  $100 \text{ кг} \cdot \text{год}^{-1}$ .

Результаты расчетов показали (табл. 6), что ПДК кадмия для картофеля соответствует нормам безопасности. При употреблении в пищу картофеля с содержанием кадмия на уровне ПДК в течение 40 лет, риск здоровью по неканцерогенным эффектам отсутствует ( $HQ \ll 1$ ).

Таблица 6. Показатели характеристики риска угрозы здоровью при поступлении кадмия и мышьяка в организм человека с картофелем

Показатель	Количество лет, в течение которых употребляется продукт				
	1 год	10 лет	20 лет	30 лет	40 лет
<i>Кадмий</i>					
$HQ$ при $C(\text{Cd}) = \text{ПДК}$	0,0039	0,039	0,078	0,12	0,156
$C_{\text{max}}$ мг/кг, при которой $HQ < 1$	7,5	0,75	0,38	0,25	0,19
ПДК Cd в картофеле — 0,03 мг/кг					
<i>Мышьяк</i>					
$HQ$ при $C(\text{As}) = \text{ПДК}$	0,087	0,87	1,74	2,6	3,48
$C_{\text{max}}$ мг/кг, при которой $HQ < 1$	2,25	0,225	0,11	0,075	0,057
ПДК As в картофеле — 0,2 мг/кг					

В пределах делянок тестируемого опытного поля концентрация кадмия в клубнях изменялась от 0,01 до 0,07 мг/кг, что не представляет угрозы для здоровья.

МДУ мышьяка для картофеля не соответствует санитарным нормам: употребление в пищу картофеля с концентрацией As 0,2 мг/кг более 10 лет опасно для здоровья (см. табл. 6). При регулярном употреблении в пищу этого продукта концентрация мышьяка в нем не должна превышать 0,06 мг/кг, что в 3,5 раза ниже установленных в РФ норм. В исследованных пробах картофеля концентрация мышьяка варьировала от 0,01 до 0,11 мг/кг (см. табл. 4).

### Заключение

Уровень антропогенного воздействия на агроэкосистемы может быть достоверно установлен: 1) при сравнительной оценке качественных характеристик агроземов и прилегающих к ним нативных почв; 2) при оценке интенсивности накопления экотоксикантов растениями.

Исследования показали, что при окультуривании дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы основные изменения в строении почвенного профиля и химическом составе происходят в пределах верхнего 50-сантиметрового слоя. Установлено, что формирование  $A_{\text{пах}} + A_1A_2$  (30 см) произошло за счет горизонтов  $A_0$ ,  $A_1$  и частично —  $A_2B$ . Фактор окультуривания закономерно повлиял на агрохимические параметры почвы: содержание подвижного фосфора в пахотном слое в 7–9 раз превысило содержание этого элемента в верхнем слое нативной почвы, реакция почвы изменилась от сильнокислой до близкой к нейтральной, содержание обменного калия возросло в 3 раза, нитратного азота — в 6 раз, содержание обменных соединений  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  увеличилось в 1,8–2,5 и 2,6 раза соответственно. Установлено, что в пахотной почве по сравнению с нативной достоверно возросло валовое содержание Zn и Cu — на 17–27% и 27–35% соответственно. Выявлено, что в отдельных пробах картофеля может наблюдаться превышение МДУ нитратного азота, кадмия и свинца при содержании этих элементов в почве существенно ниже допустимых норм. Представлены показатели характеристики риска угрозы здоровью при поступлении кадмия и мышьяка в организм человека с картофелем.

### Литература

1. Витковская С. Е. Методы оценки неоднородности почвенного покрова при планировании и проведении полевых опытов. СПб.: АФИ, 2011. 52 с.
2. ГОСТ 26487-85. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО. Введ. 26.03.85 // Сборник государственных стандартов / Разработан Министерством сельского хозяйства СССР. М.: Изд-во стандартов, 1985. С. 21–33.
3. ГОСТ 26489-85. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО. Введ. 26.03.85 // Сборник государственных стандартов / Разработан Министерством сельского хозяйства СССР. М.: Изд-во стандартов, 1985. С. 36–40.
4. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. Введ. 29.12.91 / Разработан Всесоюзным производственно-научным объединением Союзсельхозхимия. М.: Изд-во стандартов, 1991.
5. Петербургский А. В. Практикум по агрономической химии. М.: Колос, 1968. 404 с.
6. ГОСТ 30178-96. Межгосударственный стандарт. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. Введ. 01.01.1998. М.: Стандартиформ, 1998. 10 с.
7. ГОСТ 26930-86. Межгосударственный стандарт. Сырье и продукты пищевые. Метод определения мышьяка. Введ. 01.01.1987. М.: Стандартиформ, 1987. 8 с.
8. МУ по определению тяжелых металлов в почвах с/х угодий и продукции растениеводства, ЦИНАО, 1992.

9. Семенов В. А. Применение математических методов при изучении зависимости между агрохимическими свойствами, фракционным составом гумуса и плодородием дерново-подзолистых почв // Науч. тр. СЗНИИСХ. Л., 1975. Вып. 31. С. 20–58.

10. Урожайность картофеля. 2007 / Россия в цифрах и картах. URL: <http://www.sci.aha.ru/map/rus/map.php?src=2007&map=adm&baz=18&dat=181&tab=0&col=0&size=1&deg=1> (дата обращения: 20.02.2012).

11. Шабанов А. Э., Киселев А. И., Зебрин С. Н., Анисимов Б. В. Отечественные сорта картофеля не хуже зарубежных // Картофель и овощи. 2010. №8. С. 13–14.

12. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации (Минздравсоцразвития России) от 2 августа 2010 г. № 593 н. г. Москва «Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающим современным требованиям здорового питания». URL: <http://www.rg.ru/> (дата обращения: 15.08.2011).

13. Ваганов П. А. Как рассчитать риск здоровью из-за загрязнения окружающей среды: задачи с решениями. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2008. 129 с.

14. Integrated Risk Information System (IRIS). URL: <http://epa.gov/iris/substindex.html> (дата обращения: 10.02.2011).

Статья поступила в редакцию 13 сентября 2012 г.