

ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ
И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 631.4:546.44

**ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ РАДИЯ-226 В ПОДЗОЛАХ СЕВЕРО-ВОСТОКА
ОСТРОВА САХАЛИН В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО
ПРЕДПРИЯТИЯ**

© 2014 г. Д. В. Манахов¹, З. Н. Егорова²

¹Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, 119191, Москва, Ленинские горы
e-mail: dman@soil.msu.ru

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2
e-mail: zoyasoleil@gmail.com

Поступила в редакцию 27.06.2013 г.

Изучены подзолы нефтедобывающих территорий северо-востока о. Сахалин. Охарактеризованы химические свойства почв промышленной площадки, территории, прилегающей к ней, и фонового участка. Установлено, что в условиях загрязнения подзолов северо-востока о. Сахалин слабоминерализованными и слаборадиоактивными пластовыми водами характер распределения радионуклида по формам нахождения в почвах, подвергавшихся загрязнению, отличается от фоновой почвы. Наблюдается увеличение доли обменной формы нахождения в нижних частях профилей и увеличение долей подвижной и кислоторастворимой форм в иллювиальных частях профилей на фоне уменьшения их долей в верхних органогенных горизонтах.

Ключевые слова: естественные радионуклиды, миграция, аккумуляция, загрязнение, почва, физико-химические свойства.

DOI: 10.7868/S0032180X14040054

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время естественные радионуклиды, извлеченные из недр человеком, являются значимыми загрязнителями окружающей среды. Масштабное поступление их возникает в местах нефтедобычи и транспортировки нефти. В таких условиях радиационному облучению подвержена не только окружающая среда, но и персонал предприятий, а также население, проживающее на данной территории [5].

Основным источником загрязнения нефтепромыслов радиоактивными изотопами являются пластовые воды. В большом количестве в них содержатся хорошо растворимые неорганические соединения, представленные сульфатами и хлоридами. В пластовых водах много щелочноземельных элементов, в том числе и радиоактивного радия. Общее содержание растворенных соединений в пластовых водах колеблется от 5 до 300 г/л [25]. Радиоактивность пластовых вод определяется в значительной степени радием-226 из природного радиоактивного семейства урана и радием-228 из природного радиоактивного семейства тория. Концентрации изотопов радия могут превышать фоновые значения в 100–1000 раз [20].

Загрязнение почв пластовыми водами может привести к формированию радиоактивных ореолов техногенного загрязнения и поступлению радионуклидов в поверхностные, грунтовые и подземные воды, используемые для хозяйственно-питьевых целей [2].

Все изотопы радия отличаются от других радионуклидов высокой радиотоксичностью. Особое внимание среди них уделяется радию-226. Данный изотоп является одним из наиболее токсичных и широко распространенных долгоживущих альфа-излучателей. Для радия-226 установлена одна из самых низких предельно допустимых концентраций в питьевой воде. Он и продукты его распада представляют большую опасность для здоровья человека, и оценка загрязнения этим элементом окружающей среды является необходимой задачей [17].

Поведение радия в почвах зависит от его химических свойств, физико-химического состояния и концентрации, гранулометрического и минералогического составов почв, содержания органического вещества, присутствия в растворе некоторых ионов, миграционно способных коллоидов, комплексообразователей и т. д. Наряду с химическими свойствами самого нуклида, важ-

ными факторами, определяющими его миграционную способность, являются водный и температурный режимы, процессы, связанные с жизнедеятельностью корневых систем растений и микроорганизмов [15, 16, 18, 22].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужили подзолы расположенной в Ногликском р-не Сахалинской обл. площадки нефтедобычи и прилегающих территорий. Было изучено три разреза. Разр. 1 расположен в периферийной части площадки нефтедобычи в 50 м от шламового амбара. Растительность изрежена, травянистый покров практически отсутствует. Верхние горизонты перемешаны, вероятно, в результате проведения рекультивационных или планировочных работ на площадке. Разр. 2 располагается в 70 м от разр. 1, от промышленной площадки данная территория отделена валом высотой около 0.5 м. Растительный покров представлен зарастающим горельником с лиственницей, кедровым стлаником, брусникой, мхами. В верхних горизонтах обнаружены угольки. Разр. 3, характеризующий фоновую почву, расположен в 1500 м от разр. 1 и 2. Растительный покров такой же, как на разр. 2. Поверхность почвы и верхние горизонты разр. 2 и 3 не имеют следов механического нарушения и нефтяного загрязнения.

Почвенные образцы отбирались по генетическим горизонтам, а в горизонтах большой мощности из 20-сантиметровых слоев. Во всех почвенных образцах определяли рН водный и рН КСl — потенциометрически, гидролитическую кислотность — методом Каппена в модификации ЦИНАО, содержание органического углерода методом Тюрина, обменные Ca^{2+} и Mg^{2+} — комплексометрически [1], содержание нефтяных углеводородов (НУВ) — методом ИК-спектрии [14].

Во всех почвенных образцах определяли удельные активности радия-226 и тория-232 по излучению дочерних продуктов распада гамма-спектрометрическим методом [10]. Считается, что в незагрязненных естественными радионуклидами почвах соблюдается равновесие в ряду тория-232, поэтому результаты измерения активностей гамма-излучающих дочерних продуктов распада тория-232 принимаются за активность самого этого изотопа. В условиях возможного радиоактивного загрязнения естественными радионуклидами в составе пластовых вод, обогащенных радием-226 и радием-228, результаты измерения удельных активностей гамма-излучающих изотопов, членов ряда тория-232, следует соотносить скорее с удельной активностью радия-228 [24].

Определение форм нахождения радия-226 было проведено в трех образцах из каждого разреза: из верхней (органогенной), средней (иллювиаль-

ной) и нижней (почвообразующая порода) частей профиля. Нами использована методика последовательной экстракции, ставшая традиционной в отечественной радиоэкологии [6]. Выделялись следующие формы нахождения: водорастворимая (дистиллированная вода), обменная, легкорастворимая (1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, рН = 4.8), подвижная, необменносвязанная с органическим веществом и с оксидами и гидроксидами железа и марганца (1 М HCl), кислоторастворимая, связанная с алюмосиликатами, сорбированная на поверхности кристаллических решеток и связанная с аморфными формами почвенных минералов (6 М HCl). Вскрытие остатка вели спеканием с Na_2CO_3 .

В вытяжках проводили отделение мешающих естественных радионуклидов на $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и соосаждение изотопов радия на BaSO_4 [12]. Измерение удельной активности радия-226 проводилось альфа-радиометрически с учетом увеличения альфа-активности за счет накопления альфа-излучающих дочерних продуктов распада [3, 11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Фоновая почва (разр. 3) представлена подзолом иллювиально-железистым, иллювиально-изогумусовым, малогумусовым, мелким, супесчаным на морских отложениях [9]. Эта почва характеризуется очень сильно кислой и сильнокислой реакцией среды по всему профилю, содержание обменных оснований низкое, ненасыщенность основаниями почвенного поглощающего комплекса достигает 78% в верхних горизонтах (табл. 1). При малой мощности органогенных горизонтов отмечается обильное накопление органических остатков на поверхности почв, вследствие медленного их разложения и слабой минерализации, характерных для почв о. Сахалин [8]. Содержание органического углерода в минеральных горизонтах не превышает 1%, с характерным четким элювиально-иллювиальным распределением по профилю.

Содержание НУВ не превышает 320 и 77 мг/кг в органогенных и минеральных горизонтах соответственно. Известно, что в органогенных горизонтах подзолов фоновых территорий о. Сахалин содержание НУВ составляет 34–140 мг/кг [23]. В органогенных горизонтах незагрязненных почв нефтедобывающих регионов эта величина может достигать 500 мг/кг и более [13, 19]. Повышенное содержание НУВ в органогенных горизонтах по сравнению с минеральными может быть обусловлено также накоплением углеводородов, находящихся в составе растительного опада и вторично синтезируемых метанобразующими бактериями [7].

Почва, расположенная в непосредственной близости от площадки нефтедобычи (разр. 2), представлена подзолом иллювиально-желези-

Таблица 1. Химические свойства подзолов площадки нефтедобычи и прилегающих территорий

Горизонт	Глубина, см	pH		Нг, ммоль(+)/100 г	Обменные катионы, ммоль(+)/100 г			Степень насыщенности основаниями	С орг	Зольность	НУВ
		водный	солевой		Ca ²⁺	Mg ²⁺	сумма				
Разр. 1 (площадка нефтедобычи)											
A + E	0–10	5.16	3.88	8.65	2.27	5.00	7.27	45.7	1.54	–	167.0
B2	0–20	5.36	3.96	4.61	1.18	0.71	1.89	29.2	0.30	–	32.1
B1 + B2	10–30	5.42	3.80	4.61	0.62	1.66	2.28	33.1	0.74	–	25.2
B3	30–42	5.40	3.75	4.61	1.66	0.83	2.49	35.1	0.11	–	0.0
BC	42–60	5.51	3.61	4.82	2.13	0.85	2.98	38.2	0.16	–	7.7
BC	60–80	5.57	3.69	3.19	2.27	1.14	3.41	51.7	0.12	–	21.0
C	80–100	5.64	3.66	3.26	2.52	1.15	3.67	53.0	0.14	–	42.1
Разр. 2 (прилегающая территория)											
O + AT	0–6	4.36	3.39	35.80	8.68	0.92	9.60	21.1	–	54.12	1619.0
AE + E	6–10	4.37	3.14	16.90	10.91	0.68	11.59	40.7	0.67	–	610.0
B1fe	10–16	4.88	4.08	8.45	5.82	0.21	6.03	41.6	1.12	–	55.3
B2	16–31	5.43	4.00	4.82	3.19	0.21	3.40	41.4	0.37	–	51.3
B3	31–54	5.59	3.82	5.98	2.45	1.23	3.68	38.1	0.13	–	84.0
BC	54–69	5.56	3.79	4.92	1.89	0.76	2.65	35.0	0.13	–	30.9
BC	69–83	5.60	3.74	4.42	2.22	0.74	2.96	40.1	0.15	–	54.5
C	83–100	5.64	3.71	4.32	2.69	1.22	3.91	47.5	0.13	–	43.0
Разр. 3 (фоновая почва)											
O + AT	0–4	4.61	3.96	28.70	7.34	0.75	8.09	22.0	–	43.10	320.0
AE + E	4–15	4.58	4.00	1.63	1.47	0.31	1.78	52.2	0.87	–	15.3
B1fe	15–20	4.92	4.04	1.60	1.19	0.29	1.48	48.1	0.92	–	0.0
B2	20–36	5.52	3.89	0.76	0.24	0.30	0.54	41.5	0.22	–	0.0
B3	36–64	5.68	3.98	0.95	0.23	0.23	0.46	32.6	0.09	–	76.6
BC	64–100	5.61	3.82	0.36	0.93	0.29	1.22	77.2	0.10	–	70.5
C	100–120	5.62	3.76	0.23	1.10	0.31	1.41	86.0	0.09	–	55.7

Примечание. Нг – гидролитическая кислотность.

стым, иллювиально-изогумусовым, многогумусовым, мелким, супесчаным на морских отложениях. Она характеризуется еще более кислой реакцией среды по всему профилю. Содержание обменных оснований выше, чем в фоновой почве, но насыщенность основаниями почвенного поглощающего комплекса за счет больших величин гидролитической кислотности остается высокой и достигает в верхних горизонтах 79%. Содержание органического углерода в минеральных горизонтах не превышает 1.12%, с элювиально-иллювиальным распределением его по профилю.

Содержание НУВ составляет 1619 и 610 мг/кг в верхнем органогенном и верхнем минеральном горизонтах, что в 5 и в 8 раз превышает количество НУВ в соответствующих горизонтах фоновой почвы. При отсутствии видимых следов нефтяного загрязнения на поверхности и в про-

филе этой почвы, повышенное содержание НУВ по сравнению с фоном может быть связано как с близким ее расположением к месторождению, так и с аэральным поступлением легких фракций углеводородов.

Расположенная на промышленной площадке почва (разр. 1) представлена техноподзолом супесчаным на морских отложениях [4]. Почва механически нарушена, подстилка отсутствует, горизонты верхней и средней части профиля (до глубины 40 см) перемешаны в результате проведения рекультивационных или планировочных работ на площадке.

Для нее характерна очень сильно кислая реакция среды всех слоев и горизонтов. Содержание обменных оснований больше, чем в фоновой почве, но несколько ниже, чем в почве, примыка-

ющей к промышленной площадке, так же как и величины гидролитической кислотности. Степень ненасыщенности основаниями почвенного поглощающего комплекса достигает 71% в верхних горизонтах. Содержание гумуса невелико, максимум приурочен к верхнему слою, смеси гор. А и Е. Вниз по профилю оно не превышает 0.74%. Максимум содержания НУВ также приурочен к верхнему слою (167 мг/кг). Далее по профилю оно не превышает величины 42 мг/кг.

Обращает на себя внимание тот факт, что почвы промышленной площадки и территории, непосредственно примыкающей к ней, отличаются от фоновой почвы большими величинами гидролитической кислотности, большим содержанием обменных катионов и меньшими величинами рН КС1, что может быть связано со свойствами и составом пластовых вод [21].

Во всех почвах удельные активности радия-226 и радия-228 невелики (табл. 2). В фоновой почве (разр. 3) активности этих радионуклидов в органо-генных горизонтах минимальны. Это может быть связано с относительно высоким содержанием обменного кальция, который конкурирует с радием или сорбируется на поверхности минеральных частиц, препятствуя его поглощению [16]. В минеральных горизонтах активности изотопов радия возрастают, достигая максимальных величин в нижней части иллювиальной толщи.

В механически ненарушенной почве (разр. 2) удельные активности радия-226 несколько меньше, чем на фоновой территории, профильное распределение такое же. Удельные активности радия-228, напротив, больше, чем в фоновой почве. В почве промышленной площадки (разр. 1) уменьшение удельных активностей изотопов радия и накопление обменного кальция в органо-генной части профиля по сравнению с минеральной не столь заметно.

Таким образом, в исследованных почвах площадки нефтедобычи и прилегающих территорий накопления изотопов радия по сравнению с фоновой почвой не отмечается. Вместе с тем, характер распределения радия-226 по формам нахождения в фоновой почве и почвах, подвергавшихся загрязнению, различен (табл. 3).

В фоновой почве (разр. 3) доля водорастворимых форм невелика по всему профилю. Доля обменных форм минимальна в органо-генном горизонте – 3.9%, в минеральных горизонтах она существенно возрастает в связи со снижением конкуренции радия-226 с кальцием за обменные позиции. Доля форм, связанных с органическим веществом и с оксидами и гидроксидами железа и марганца, напротив, уменьшается вниз по профилю вместе с уменьшением содержания органического углерода. Также ведут себя кислоторастворимые формы нахождения. Наибольшая часть

Таблица 2. Активности радия-226 и радия-228 в подзолах площадки нефтедобычи и прилегающих территорий

Горизонт	Глубина, см	Радий-226	Радий-228
		Бк/кг	
Разр. 1 (площадка нефтедобычи)			
A + E	0–10	19.97 ± 1.31	34.75 ± 1.89
B2	0–20	23.43 ± 1.55	43.48 ± 2.36
B1 + B2	10–30	24.53 ± 1.57	44.40 ± 2.40
B3	30–42	23.43 ± 1.44	37.81 ± 2.03
BC	42–60	21.35 ± 1.36	36.99 ± 1.98
BC	60–80	19.28 ± 1.24	34.02 ± 1.83
C	80–100	22.41 ± 1.44	36.26 ± 1.97
Разр. 2 (прилегающая территория)			
O + AT	0–6	12.62 ± 1.75	26.73 ± 1.89
AE + E	6–10	20.93 ± 1.48	30.37 ± 1.71
B1fe	10–16	20.19 ± 1.40	31.60 ± 1.76
B2	16–31	21.55 ± 1.38	34.89 ± 1.89
B3	31–54	22.42 ± 1.45	42.36 ± 2.26
BC	54–69	24.42 ± 1.54	40.10 ± 2.16
BC	69–83	22.99 ± 1.45	38.12 ± 2.06
C	83–100	23.15 ± 1.48	38.35 ± 2.06
Разр. 3 (фоновая почва)			
O + AT	0–4	15.61 ± 6.75	21.52 ± 6.24
AE + E	4–15	27.97 ± 3.05	24.82 ± 2.73
B1fe	15–20	25.11 ± 2.85	29.64 ± 2.87
B2	20–36	25.64 ± 2.98	32.24 ± 3.07
B3	36–64	31.85 ± 3.37	40.28 ± 3.50
BC	64–100	30.90 ± 3.16	36.43 ± 3.19
C	100–120	24.92 ± 2.95	33.67 ± 3.11

радия-226 сосредоточена в кристаллических решетках первичных минералов, достигая 60.1–64.2%. Изменение этой величины по профилю незначительно.

В почвах, подвергшихся загрязнению пластовыми водами (разр. 1 и 2), характер распределения радия-226 по формам нахождения совершенно другой. Наблюдается увеличение доли обменной формы нахождения в почвообразующей породе и увеличение долей подвижной и кислоторастворимой форм в иллювиальных частях профилей на фоне уменьшения их в верхних органо-генных горизонтах.

Известно, что на сорбционное поведение радионуклидов из техногенных источников влияют, прежде всего, исходная форма элементов и присутствие макрокомпонентов. При поступлении на поверхность почвы в составе хлоридно-кальциевых пластовых вод радий фиксируется органо-минеральным комплексом гумусово-аккумуля-

Таблица 3. Формы нахождения радия-226 в подзолах площадки нефтедобычи и прилегающих территорий, % от общего содержания

Горизонт	Глубина, см	Водорастворимая	Обменная	Подвижная	Кислоторастворимая	Остаток
Разр. 1 (площадка нефтедобычи)						
A + E	0–10	0.8 ± 0.2	14.6 ± 1.2	8.9 ± 1.3	5.2 ± 1.0	70.6 ± 7.7
B3	30–42	0.5 ± 0.2	20.6 ± 1.4	10.1 ± 0.8	7.7 ± 0.8	61.1 ± 6.6
C	80–100	1.1 ± 0.2	37.0 ± 3.0	9.5 ± 1.5	4.9 ± 1.4	47.5 ± 7.6
Разр. 2 (прилегающая территория)						
O + AT	0–6	0.9 ± 0.3	4.1 ± 0.8	9.4 ± 1.1	7.8 ± 1.0	77.8 ± 11.7
B3	31–54	0.8 ± 0.2	24.5 ± 1.6	12.3 ± 0.8	10.9 ± 0.8	51.6 ± 5.3
C	83–100	0.9 ± 0.3	36.4 ± 3.6	7.0 ± 1.0	1.7 ± 0.2	53.9 ± 10.4
Разр. 3 (фоновая почва)						
O + AT	0–4	1.6 ± 0.3	3.9 ± 0.6	14.8 ± 1.5	15.5 ± 1.6	64.2 ± 9.6
B3	36–64	0.7 ± 0.2	22.0 ± 1.5	8.9 ± 0.8	5.0 ± 0.5	63.4 ± 6.9
C	100–120	0.9 ± 0.3	27.0 ± 2.5	5.8 ± 0.7	6.2 ± 0.7	60.1 ± 9.5

лятивных горизонтов. Вследствие изоморфного вхождения в кристаллические решетки минералов, проникновения во внутренние полости структуры минералов по ее дефектам, осаждения и соосаждения, комплексообразования со слабоподвижными фракциями органического вещества, подвижность и биологическая доступность радия в загрязненных почвах может быть даже ниже, чем в не загрязненных [16, 20, 22].

Высокая доля подвижных форм нахождения радия-226 (прежде всего обменной) в нижних горизонтах исследованных почв площадки нефтедобычи и территории, непосредственно прилегающей к ней, по сравнению с фоновой почвой, свидетельствует, что загрязнение пластовыми водами шло не только с поверхности, но и с внутрипочвенным стоком растворов, просачивающихся из шламового амбара.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях загрязнения подзолов северо-востока о. Сахалин слабоминерализованными и слаборadioактивными пластовыми водами значительного накопления радия-226 не отмечается. Вместе с тем, характер распределения радионуклида по формам нахождения в почвах, подвергавшихся загрязнению, отличается от фоновой почвы. Наибольшая доля радия-226 сосредоточена в прочносвязанных формах, унаследованных от почвообразующих пород. Поступившие в водорастворимом состоянии радионуклиды находятся в составе подвижных соединений. Высокая доля подвижных форм нахождения радия-226 (прежде всего обменной) в нижних горизонтах почв площадки нефтедобычи и территории, непосредственно прилегающей к ней, по сравнению с фо-

новой почвой, свидетельствует, что загрязнение пластовыми водами шло не только с поверхности, но и с внутрипочвенным стоком растворов, просачивающихся из шламового амбара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина Е.С.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1962. 492 с.
2. *Бахур А.Е., Мануилова Л.И., Зуев Д.М., Иванова Т.М., Трухина Т.П.* Аналитические особенности определения радионуклидов в пластовых водах нефтяных месторождений // АНРИ. 2002. № 4. С. 4–13.
3. *Вдовенко В.М., Дубасов Ю.В.* Аналитическая химия радия. Л.: Наука, 1973. 190 с.
4. *Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В.* Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
5. *Горбачев Д.О.* Обоснование требований по обеспечению радиационной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. Биология. 2006. № 9 (49). С. 128–137.
6. *Горяченкова Т.А., Казинская И.Е., Кларк С.Б., Новиков А.П., Мясоедов Б.Ф.* Методы изучения форм нахождения плутония в объектах окружающей среды // Радиохимия. 2005. Т. 47. № 6. С. 550–555.
7. *Другов Ю.С., Родин А.А.* Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов в: практическое руководство. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 270 с.
8. *Ивлев А.М.* Избранное (Вопросы теории и методологии почвоведения. Из опубликованного ранее). Владивосток, 2005. 147 с.
9. *Классификация и диагностика почв СССР.* М.: Колос, 1977. 221 с.

10. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением "Прогресс". Менделеево: ГНМЦ "ВНИИФТРИ", 2003. 30 с.
11. Методика измерения суммарной альфа-активности с использованием сцинтилляционного альфа-радиометра с программным обеспечением "Прогресс". Менделеево: ГНМЦ "ВНИИФТРИ", 2005. 22 с.
12. Методика приготовления счетных образцов из проб питьевой воды для измерения активности ЕРН с использованием радиологического комплекса с программным обеспечением "Прогресс". ООО "НТЦ Амплитуда", 2006. 21 с.
13. *Ликовский Ю.И.* Природные и техногенные потоки углеводов в окружающей среде. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 208 с.
14. ПНД Ф 16.1-2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии. М., 1998. 18 с.
15. *Рачкова Н.Г., Шуктомова И.И.* Изменение подвижности соединений урана, радия и тория в пахотном слое подзолистой почвы // Почвоведение. 2009. № 2. С. 211–217.
16. *Рачкова Н.Г., Шуктомова И.И., Таскаев А.И.* Состояние в почвах естественных радионуклидов урана, радия и тория (обзор) // Почвоведение. 2010. № 6. С. 698–705.
17. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009. 73 с.
18. Сельскохозяйственная радиоэкология / Под ред. Р.М. Алексахина, Н.А. Корнеева. М.: Экология, 1991. 400 с.
19. *Солнцева Н.П.* Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 376 с.
20. *Титаева Н.А.* Ядерная геохимия. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. 336 с.
21. *Трофимов С.Я., Фокин А.Д., Дорофеева Е.И., Салпагарова И.А., Кошелева Ю.П., Руденко А.Н., Васильконов Е.С., Узких О.С.* Влияние нефтяного загрязнения на свойства чернозема выщелоченного в условиях модельного эксперимента // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2008. № 1. С. 34–38.
22. Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере: миграция и биологическое действие на популяции и биогеоценозы / Под ред. Р.М. Алексахина, Н.П. Архипова, Р.М. Бархударова и др. М.: Наука, 1990. 368 с.
23. *Щеглов А.И., Цветнова О.Б.* Содержание и распределение нефтяных углеводов в почвах фоновых территорий о. Сахалин // Проблемы региональной экологии. 2009. № 5. С. 49–53.
24. *Aksoy A., Al-Jarallah M., Al-Haddad M.N.* Natural radioactivity in the scale of water wellpipes // J. of Environmental Radioactivity. 2002. V. 61. Iss. 1. P. 33–40.
25. *Bandong B.B., Kreek S.A., Bazan J.M., Torretto P.C., Dixon J.A., Edwards W.L., Guthrie E.B., Ruth M.A., Zarka F.A., Hall H.L.* Validation of a gamma-spectrometric method for the measurement of ^{226,228}Ra in environmental media relevant to the offshore oil and gas industry // J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2005. V. 264. № 2. P. 429–435.