

УДК 550.4

*Д. Н. Балыкин, канд. сельскохоз. наук, н. с., ИВЭП СО РАН, г. Барнаул, т.(385-2) 666-516; А.В. Пузанов, д-р биол. наук, проф., зам. дир. ИВЭП СО РАН; С.Н. Балыкин, канд. биол. наук, с.н.с. ИВЭП СО РАН, г. Барнаул, E-mail: puzanov@iwer.ru*

## РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОЧВАХ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ДОЛИНЫ РЕКИ ВАСЮГАН (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Исследованы основные физико-химические свойства почв долины р. Васюган. Установлены уровни содержания естественных радионуклидов ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) и  $^{137}\text{Cs}$  в почвах и донных отложениях долины р. Васюган. Рассмотрены Th/U отношения в почвах и донных отложениях.

*Ключевые слова:* радионуклиды, почвы, донные отложения, река Васюган.

### ВВЕДЕНИЕ

Река Васюган принадлежит к типу равнинных таежных рек Сибири. В верховье имеет низкие заболоченные берега и широкую пойму, в среднем течении их высота увеличивается; в нижнем течении много островов и мелей. Водосборная поверхность р. Васюган расположена на склоне от Васюганской равнины к долине р. Обь. Река с многочисленными притоками прорезала озёрно-аллювиальные ниже-среднечетвертичные отложения и сформировала широкую долину с комплексом террасовых отложений. Выделяют пойму и 2-3 надпойменные террасы. В административном отношении основная часть бассейна реки приходится на территорию Каргасогского района Томской области. В ходе экспедиционных работ в июле 2009 г. был исследован участок долины р. Васюган от устья до п. Катыльга.

Загрязнение компонентов окружающей среды техногенными радионуклидами в Томской области связаны с деятельностью Сибирского химического комбината, проведением испытаний на Новоземельском, Семипалатинском полигонах, отдельные незначительные локальные участки - с "Тоцким" ядерным взрывом в 1954 г. [1]. Значительная часть естественной радиоактивности почв, речных вод и донных отложений связана с изотопами, которые образуют три семейства: урана (родоначальник  $^{238}\text{U}$ ; период полураспада  $T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$  лет), актиния (родоначальник  $^{235}\text{U}$ ;  $T_{1/2} = 7,1 \cdot 10^8$  лет) и тория (родоначальник  $^{232}\text{Th}$ ;  $T_{1/2} = 1,4 \cdot 10^{10}$  лет). Из всех изотопов урана,  $^{238}\text{U}$  составляет 99,28%. Существенный вклад в естественную радиоактивность почв вносит долгоживущий изотоп  $^{40}\text{K}$  ( $T_{1/2} = 1,3 \cdot 10^9$  лет) [2]. Ее уровень для исследуемой территории определяется, в первую очередь, содержанием этого элемента в материнских породах. Кроме того, она зависит от ландшафта, климатических условий, процессов вертикальной и горизонтальной миграции естественных радионуклидов в почвах, их биологической аккумуляции [3].

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Бассейн р. Васюган относится к южнотаежной подзоне подзолистых почв. Преобладание хвойной растительности создает предпосылки для развития подзолообразования, главная роль в котором принадлежит растительному опаду. Исключительная равнинность центральных частей водоразделов, малая врезанность рек затрудняют сток поверхностных вод, что приводит к значительному поверхностному и грунтовому переувлажнению, а также преобладанию здесь полугидроморфного и гидроморфного почвообразования. Автоморфное почвообразование в силу специфических геоморфологических и гидрологических особенностей приурочено лишь к узким приречным пространствам, представляющим собой хорошо дренированные поверхности, толщи пород которых, как правило, на значительную глубину отмыты от карбонатов [4]. В ходе исследования выделены следующие типы и подтипы почв: аллювиальные слоистые, аллювиальные дерновые, аллювиальные луговые, аллювиальные лугово-болотные, подзолистые, болотно-подзолистые, дерново-подзолистые.

Почвенные разрезы закладывали на глубину, охватывающую все генетические горизонты. Выполняли подробное описание морфологического строения профиля по правилам, принятым в почвоведении. Образцы почв на общий анализ отбирали из

каждого генетического горизонта, на наличие радионуклидов - послойно через 5 см до глубины 30 см и ниже по генетическим горизонтам. Радионуклиды определяли гамма-спектрометрическим методом в аналитическом центре ИГМ СО РАН. Плотность загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  рассчитывали формуле [5]:  $P = (m\text{Ки}/\text{км}^2) = 0,27 \cdot A \cdot dh$ , где  $P$  - плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ , нКи/м<sup>2</sup>;  $A$  - удельная активность, Бк/кг;  $d$  - объемная масса почвы, г/см<sup>3</sup>;  $h$  - мощность исследованного почвенного слоя, см; 0,27 - коэффициент пересчета. Образцы донных отложений отбирали с помощью дночерпателя Петерсона  $S = 0,025 \text{ м}^2$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Актуальная кислотность (рНв) почв долины р. Васюган изменяется от сильнокислой до нейтральной. Кислая обстановка всего почвенного профиля характерна для аллювиальных дерновых кислых, дерново-подзолистых и подзолистых почв долины, что связано с характером наземной растительности, условиями гидроморфизма.

Развитие процессов заболачивания способствуют значительному накоплению органического материала на поверхности почвы, образованию органогенных и органо-минеральных горизонтов с высоким содержанием органических веществ различной степени разложения. Потери при прокаливании составляли 20-30 %, в отдельных случаях - до 80-90 %. Содержание гумуса в органо-минеральных и минеральных горизонтах почв установлено на уровне 0,1-9,0 %. По гранулометрическому составу исследуемые почвы в основном относятся к супесчаным, легко-среднесуглинистым разновидностям. Преобладающими фракциями являются мелкий песок и крупная пыль, в отдельных случаях - крупная пыль и ил. Гранулометрический состав донных грунтов р. Васюган представлен крупнопылеватого-мелкопесчаными и иловато-мелкопесчаными отложениями, для его притоков характерно: мелко-среднепесчаные (р. Махня), крупнопылеватого-мелкопесчаные (р. Варингъган), мелкопесчанно-крупнопылеватые (р. Нюрюлька), средне-мелкопесчаные отложениями (р. Чижакпа, р. Сильга).

Содержание естественных радионуклидов в почвах долины р. Васюган в целом находится на уровне кларка. Величина торий-уранового отношения соответствует нормальным значениям (без техногенного воздействия) и составляет 2,7-4,0. Для различных регионов, стран и континентов вне зависимости от генетического типа почв и природно-климатических зон эта величина составляет 3-5 [6]. Концентрации  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$  в органо-минеральных и минеральных почвенных горизонтах в пределах: 0,1-4,3 г/т, 1,9-6,4 г/т и 0,25-1,4 %, соответственно. В среднем относительно высокие уровни содержания естественных радионуклидов характерны для аллювиальных слоистых и дерновых почв долины (табл. 1).

Почвенные процессы оказывают влияние на содержание естественных радионуклидов в почвах. При выраженных подзолистых и глеевых процессах (аллювиальные луговые, дерново-подзолистые, болотно-подзолистые, лугово-болотные) характерно относительное обеднение ураном, торием и калием (табл. 1).

Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в почвах долины р. Васюган значительно варьирует. Пределы ее колебаний составляют 2-115 Бк/кг, при этом значительная часть приходится на поверхность

Таблица 1

Среднее содержание естественных радионуклидов в почвах долины р. Васюган

Тип почвы	$^{238}\text{U}(\text{Ra})$ , г/г	$^{232}\text{Th}$ , г/г	$^{40}\text{K}$ , %
Аллювиальные дерновые слоистые кислые	2,3 ± 0,2	6,2 ± 0,3	1,7 ± 0,06
Аллювиальные дерновые кислые	2,1 ± 0,1	6,8 ± 0,2	1,3 ± 0,05
Аллювиальные луговые кислые	1,9 ± 0,1	6,5 ± 0,2	1,3 ± 0,06
Аллювиальные лугово-болотные	1,8 ± 0,1	6,9 ± 0,2	1,5 ± 0,02
Дерново-подзолистые	1,6 ± 0,1	4,5 ± 0,3	1,5 ± 0,05
Болотно-подзолистые	1,2 ± 0,1	4,0 ± 0,4	1,2 ± 0,07
Кларк в почвах по А.П. Виноградову [7]	1	6	1,4

ные органогенные и органоминеральные горизонты: лесная подстилка (Ао), гумусовые (Ад), перегнойные и оторфованные и торфяные горизонты (Ап, и Т). Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  на глубине 20 см и более, как правило, составляет менее 1 Бк/кг. Плотность загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  на локальных участках долины реки Васюган превышает уровень глобального фона (около 50 мКи/км<sup>2</sup>) (табл. 2). Неравномерный характер распределения

радиоцезия связан с пространственной неоднородностью исходных выпадений радиоактивных осадков и последующей миграцией, а также с биогеохимическими особенностями наземной растительности. Высокая плотность загрязнения характерна для аллювиальных дерновых, болотно-подзолистых и луговых почв долины (табл. 2).

Таблица 2

Плотность загрязнения почв цезием-137 на различных участках долины р. Васюган

Створ	Расстояние от устья	Почва	$^{137}\text{Cs}$ , мКи/км <sup>2</sup>
I	465 км	аллювиальная дерновая слоистая кислая	1
		аллювиальная луговая кислая	38
		аллювиальная дерновая слоистая кислая	41
Ia	408 км	аллювиальная дерновая кислая	119
II	335 км	дерново-подзолистая	75
		дерново-подзолистая	24
		аллювиальная лугово-болотная	9
IIб	280 км	аллювиальная дерновая кислая	27
III	193 км	болотно-подзолистая	95
		дерново-подзолистая	50
		аллювиальная дерновая кислая	53
IV	115 км	аллювиальная луговая кислая	92
		аллювиальная луговая кислая	66
		аллювиальная луговая кислая	58
V	66 км	аллювиальная луговая кислая	58
		перегнойно-торфянистая	54
		аллювиальная луговая кислая	91

Поступление радионуклидов в речную систему с твердым стоком связан, прежде всего, с проявлением эрозионно-аккумулятивных процессов, следствием которых является размыв поверхности водосбора. Генетическая связь почв и донных отложений находит свое отражение в сходстве их количественного радионуклидного состава. Это подтверждается результатами исследования долины р. Васюган и ее притоков (на различных участках, удаленных от устья): в целом имеются близкие уровни содержания естественных радионуклидов (табл. 3).

Индикатором миграционных процессов в системе "почва - поверхностные воды - донные отложения" могут служить торий-урановые отношения [8]. В донных отложениях долины р. Васюган величина Th/U снижается и варьирует более широких пределах, чем в почвах. Это связано с относительным обогащением их ураном (табл. 3). В донных отложениях долины р. Васюган  $^{137}\text{Cs}$  не был обнаружен, что, возможно, обусловлено тем, что он прочно фиксируется в почвах на водораздельном пространстве.

Содержание органического вещества и ила в донных осадках может оказывать существенное влияние на сорбцию естественных радионуклидов. С увеличением содержания органического

вещества в донных отложениях возрастает уровень содержания  $^{238}\text{U}$  (коэффициент парной корреляции для урана и органического вещества в донных отложениях составляет + 0,5). На концентрацию  $^{232}\text{Th}$  в донных отложениях р. Васюган оказывает влияние содержание органического вещества и ила (коэффициенты парной корреляции, соответственно, составляют + 0,6 и + 0,8).

#### ВЫВОДЫ

Почвообразование на исследуемой территории протекает преимущественно в условиях кислой, слабо кислой реакции среды при сезонной смене окислительно-восстановительной обстановки, что создает предпосылки для миграции элементов с переменной валентностью и подвижных в кислой среде.

Удельная активность естественных радионуклидов ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) в почвах долины р. Васюган в среднем находится на уровне среднемировых значений. Величина торий-уранового отношения соответствует нормальным значениям для почв, не подверженных техногенному воздействию, и составляет 2,7-4,0. Плотность загрязнения почвенного покрова долины р. Васюган  $^{137}\text{Cs}$  значительно варьирует и в отдельных случаях превышает фоновые показатели для таежной зоны. Высокий уровень удель-

Содержание естественных радионуклидов в почвах и донных отложениях (ДО) долины р. Васюган и ее притоках на различных участках, удаленных от устья

Створ	Расстояние от устья	Объект	$^{238}\text{U}(\text{Ra})$ , г/т	$^{232}\text{Th}$ , г/т	$^{40}\text{K}$ , %	Th/U
I	465 км	почва	2,2	6,7	1,6	3,0
		ДО, р. Васюган	1,8	4,9	1,6	2,7
		ДО, р. Катъльга	1,3	3,9	1,8	3,0
Ia	408 км	почва	2,2	7,2	1,5	3,3
		ДО, р. Махня	1,1	1,1	1,2	1,0
II	335 км	почва	1,6	5,0	1,5	3,1
		ДО, р. Васюган	1,5	3,6	1,6	2,4
IIб	280 км	почва	2,1	7,4	1,5	3,5
		ДО, р. Варингъёган	1,6	5,3	1,6	3,3
III	193 км	почва	1,6	4,7	1,2	2,9
		ДО, р. Ньюролька	1,5	7,5	1,4	5,0
		ДО, р. Васюган	1,3	5,6	1,5	4,3
IV	115 км	почва	1,9	6,2	1,4	3,3
		ДО, р. Чижалка	0,8	2,1	1,5	2,6
		ДО, р. Васюган	1,8	4,3	1,5	2,4
		ДО, р. Васюган	0,9	3,2	1,1	3,6
V	66 км	почва	1,7	6,1	1,2	3,6
		ДО, р. Сильга	3,5	4,7	1,0	1,3
		ДО, р. Васюган	2,0	4,4	1,7	2,2

ной активности радиоцезия характерен для аллювиальных дерновых, болотно-подзолистых и луговых почв долины.

Поступление естественных радионуклидов в речную систему с твердым стоком связано с проявлением эрозионно-аккумулятивных процессов.

Содержание органического вещества и илистой фракции в донных отложениях играет существенную роль в процессе сорбции естественных радионуклидов ( $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ ).

#### Библиографический список

1. Булатов, В.И. Россия радиоактивная. - Новосибирск: ЦЭРИС, 1996.
2. Радиобиология / Г.Д. Волков, В.А. Липин, Д.П. Черкасов. - М.: Колос, 1964.
3. Дричко, В.Ф. Частотное распределение концентраций радия-226, тория-228 и калия-40 в различных почвах / В.Ф. Дричко, Б.Э. Крисяк и др. // Почвоведение - 1977. - № 9.
4. Гаджиев, М.А. Почвы Бассейна р. Васюган. - Новосибирск: Наука, 1976.
5. Экогеохимия Западной Сибири. Тяжелые металлы и радионуклиды - Новосибирск: изд-во СО РАН, НИЦ СИГТМ, 1996.
6. Гребенщикова, В.И. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон) / В.И. Гребенщикова, Э.Е. Лустенберг, Н.А. Китаев, И.С. Ломоносов. - Новосибирск: Академическое изд-во "Гео", 2008.
7. Алексеев, В.А. Экологическая геохимия. - М.: Логос, 2000.
8. Восель, Ю.С. Влияние состава донных осадков на содержание естественных и искусственных радионуклидов. Байкальский экорегион / Ю.С. Восель, В. Д. Страховенко // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы III Международной конференции, г. Томск, 23-27 июня 2009 г. - Томск: SST, 2009.

Статья поступила в редакцию 14.07.10

УДК 574.52 (58.02)

**Т.В. Кириллова**, канд. биол. наук, н.с. Лаборатории водной экологии ИВЭП СО РАН, г. Барнаул; **В.В. Кириллов**, канд. биол. наук, зав. Лабораторией водной экологии ИВЭП СО РАН, г. Барнаул, E-mail: puzanov@iwep.ru

## СООТНОШЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛА И БИОМАССЫ В ФИТОПЛАНКТОНЕ ВОДОТОКОВ И ВОДОЕМОВ БАССЕЙНА ВЕРХНЕГО ЧУЛЫМА

Проанализированы сезонная динамика и пространственная неоднородность соотношения хлорофилла и биомассы фитопланктона разнотипных водных экосистем бассейна Верхнего Чулыма. Определены пределы колебаний и средние значения этого показателя в изученных реках, озерах и водохранилищах. Эти исследования позволили выявить черты сходства и отличия между различающимися по своему трофическому статусу группами водотоков и водоемов.

**Ключевые слова:** содержание хлорофилла а, фитопланктон, гидробиологические исследования, водные экосистемы, река Чулым.

#### Введение

При изучении фитопланктона разнотипных водных объектов большое внимание уделяют выявлению связи между биомассой и содержанием основного фотосинтетического пигмента в планктоне как показателя уровня развития альгоценозов [1-6]. Содержание хлорофилла а в клетках часто рассматривают как

аналог биомассы фитопланктона. Соотношение хлорофилла и биомассы водорослей (Хл/В) определяется как видовой специфичностью, так и условиями среды обитания. Удельное количество хлорофилла а нестабильно и может заметно варьировать в зависимости от стадии роста, соотношения размерных фракций и таксономического состава фитопланктона, сезона года, глубины