

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ПОЙМЕ РЕКИ ЕНИСЕЙ НА ОСНОВЕ ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО, ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО И РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗОВ (НА ПРИМЕРЕ ОСТРОВА ЧЕРЕМУХОВ)¹

Исследование формирования пойменных отложений р. Енисей имеет важное значение для реконструкции картины радионуклидного загрязнения технологическими сбросами горно-химического комбината (ГХК) в г. Железногорске, которые осуществлялись с 1958 по 1992 гг. [1, 2]. В результате пойменный аллювий был загрязнен в основном долгоживущими радионуклидами ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{152}Eu , ^{154}Eu , имеющими соответственно периоды полураспада 30.2, 5.3, 13.3 и 8.6 года. После остановки двух прямоточных реакторов в 1992 г. сброс радионуклидов в р. Енисей снизился в десятки раз [3]. Анализировалось распределение этих радионуклидов в пределах пойменного массива о-ва Черемухов, а также по глубине литологической толщи.

В настоящее время радиоизотопный метод используется в исследованиях эрозионно-аккумулятивных процессов [4], в частности для датировки пойменных отложений [5, 6]. Для реконструкции палеогидрологических событий В. Бейкер предложил комплексный метод, включающий гидродинамические расчеты, стратиграфический и геоморфологический анализы [7]. В данной работе для оценки скорости современных процессов осадконакопления в пойменных отложениях о-ва Черемухов применены ландшафтно-гидрологический, литологический и радиометрический методы. В качестве радиоактивной метки используется ^{137}Cs , а также как собственные экспериментальные, так и опубликованные данные [2] по распределению ^{60}Co , ^{152}Eu , ^{154}Eu в литологической толще острова. Эти радионуклиды имеют различный период полураспада, что позволяет по их соотношению оценить динамику осадконакопления и датировать аллювиальные отложения.

Объект исследования

Выбор о-ва Черемухов, удаленного на 250 км от места сброса отходов производства ГХК, связан с его расположением на стрелке рек Енисей и Ангара, где меняются условия переноса и осаждения радионуклидов. Остров вытянут вниз по течению р. Енисей; его длина достигает 1000 м при ширине 350 м. Высокое центральное ядро острова размером 300 × 100 м имеет высоту до 8.5 м над меженным урезом и обрывистые склоны. С оголовка к нему примыкает низкая гривистая пойма длиной 500 м с отметками до 3 м над урезом², с ухвостья – узкая галечная коса. Слева от острова проходит основное русло Енисея шириной 550 м, справа – Черемуховская протока шириной около 400 м. Глубины по основному руслу р. Енисей составляют 4–5 м, в Черемуховской протоке – до 6 м. Ухвостье острова обращено к широкому (2.5 км) устью р. Ангары. Правый берег Ангары и Енисея ниже острова скалистый, высокий (до 100 м), левый – низкий пойменный. На Ангаро-Енисейской стрелке находится песчаная терраса высотой 15–20 м. На о-ве Черемухов с начала 1990-х годов регулярно проводятся работы по контролю радиационной обстановки и изучению распределения техногенных радионуклидов в почве [1, 2].

Методика ландшафтно-радиометрических исследований

На пикетах профиля, заложенного в центральной части острова перпендикулярно течению р. Енисей, детально исследовались особенности рельефа, почвы, раститель-

¹ Работа выполнена в рамках проекта STREAM. EC Contract N: ERB-IC15-CT98-0219.

² Отметка меженного уреза Енисея у о-ва Черемухов 76.03 м.

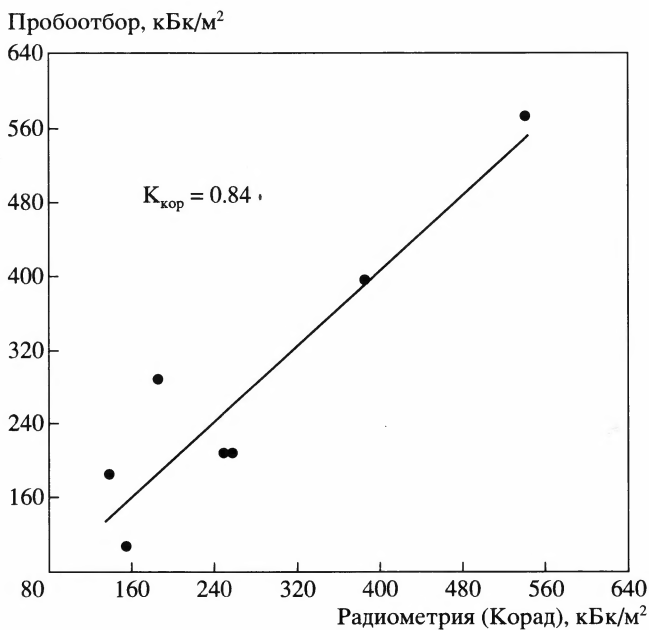


Рис. 1. Результаты измерений поверхностной активности ^{137}Cs методом полевой радиометрии и пробоотбора

ности и литологии. На каждом пикете выполнялась высотная привязка, определялась плотность загрязнения гамма-излучающими радионуклидами, составлялось ландшафтное описание с подробной характеристикой современных аллювиальных отложений.

Необходимо было “привязать” литологические слои отложений к определенному половодью: чем мощнее и продолжительнее половодье, тем крупнее гранулометрический состав аллювия и больше мощность слоя.

Для изучения распределения радионуклидов в пойменных почвах о-ва Черемухов использовались два типа радиометрических приборов: радиометр “КОРАД” [8] с коллимированным детектором, предназначенный для определения поверхностной активности ^{137}Cs и оценки его заглубления, и радиометр с погружным детектором для измерения профиля распределения радионуклидов в почве по глубине [9].

Радиометром “КОРАД” определяют величину A – поверхностную активность (запас) ^{137}Cs в слое почвы до 35–40 см с площади 2 м^2 [8]. Методика измерения прибором “КОРАД” позволяет также проводить оценку величины заглубления ^{137}Cs в почве, т.е. определять толщину слоя $Z_{\text{дсп}}$ (в длинах свободного пробега в почве γ -квантов с энергией 662 кэВ), в котором содержится не менее 80% всего запаса цезия [8]. В контрольных точках проводился послойный почвенный отбор для последующего спектрометрического анализа в лабораторных условиях и верификации результатов измерений радиометрическими приборами. Согласно результатам сопоставлений измерения запаса ^{137}Cs прибором “КОРАД” и отбора проб, коэффициент корреляции равен 0.84 (рис. 1).

В ряде случаев (когда загрязненный радионуклидами слой почвы перекрыт сверху более чистыми наносами) возможно установить запас ^{137}Cs и несколько глубже, чем 35–40 см. В этом случае $Z_{\text{дсп}}$ можно представить в виде $Z_{\text{дсп}} = L_0 + L_1$, где L_0 – условно чистый слой, L_1 – толщина загрязненного слоя почвы. Для перевода указанных величин в сантиметры мы воспользовались простым соотношением: $Z_{\text{см}} = 12.9 \times Z_{\text{дсп}} / \langle \rho \rangle$, где $\langle \rho \rangle$ – плотность почвы ($\text{г}/\text{см}^3$).

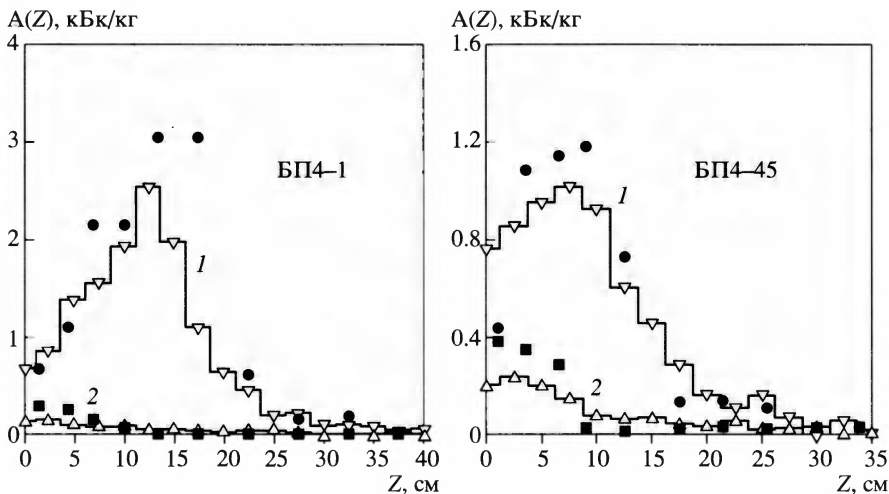


Рис. 2. Распределение удельной активности радионуклидов по глубине почвы (в расчете на сырой вес) 1 – ^{137}Cs – ● – измерение проб в лаборатории, ▽ – измерение погружным детектором; 2 – ^{60}Co , $^{152,154}\text{Eu}$ (G_{com}) – ■ – измерение ^{60}Co , $^{152,154}\text{Eu}$ в пробах в лабораторных условиях и пересчет на величину G_{com} по формуле (1), ρ – △ – измерение G_{com} погружным детектором в полевых условиях

Для измерений радиометром “КОРАД” в условиях р. Енисей из-за влияния присутствующих техногенных радионуклидов ^{60}Co и $^{152,4}\text{Eu}$ [10] потребовалась модификация уже существующей методики [8]. Плотность загрязнения радионуклидов ^{60}Co и $^{152,4}\text{Eu}$ оценивалась, используя понятие обобщенной активности G_{com} :

$$G_{\text{com}} = A_{\text{Co}} + 0.345A_{\text{Eu}}. \quad (1)$$

Радиометр с погружным детектором [9] предназначен для измерения удельной активности радионуклидов в почве по глубине (гамма-каротажа). Разработанная методика, также как и при использовании радиометра “КОРАД”, позволяет проводить измерения ^{137}Cs в присутствии других техногенных радионуклидов ^{60}Co и $^{152,4}\text{Eu}$ с пространственным разрешением по глубине ~5 см до уровня галечниковой кровли.

По результатам измерения погружным детектором профилей распределения радионуклидов по глубине можно также оценивать их поверхностную активность, если известна средняя плотность почвы. Значение средней плотности определялось по данным отбора проб, и в большинстве случаев для исходной влажной почвы было равным $\sim 1.4 \text{ г/см}^3$. Сравнение результатов измерений распределения ^{137}Cs в присутствии техногенных радионуклидов ^{60}Co и $^{152,4}\text{Eu}$ по глубине почвы погружным детектором и послойного отбора проб представлены для двух пикетов БП4-1 и БП4-45 (рис. 2), расположенных на удалении 20 км от ГХК.

Условия осадкоаккумуляции и формирования поймы на оголовке о-ва Черемухов

Характер радионуклидного загрязнения пойменных отложений р. Енисей зависит от гидродинамических условий переноса и осаждения речных наносов. Концентрация ^{137}Cs во взвешенных частицах составляет не менее 20–50% его суммарного содержания в воде [11]. Анализ пойменных ландшафтов выявил связь загрязнения ^{137}Cs с литологическим строением [10]. Отложение загрязненных радионуклидами речных наносов обусловлено гидрологическими (длительность и глубина затопления) и гидродинамическими (скорость и направление течения) условиями. Датиро-

вать пойменные отложения можно, используя радионуклиды, изотопы которых присутствуют в пойменных отложениях в измеряемых количествах.

Гидрологический режим Енисея существенно изменился после создания Красноярской ГЭС в 1967 г. Регулирование стока привело к значительному снижению максимальных уровней, повышению минимальных уровней, и, как следствие, снижению годовой амплитуды колебания уровней в 1.7–2 раза. Средний максимальный расход воды, по данным гидропоста Базаиха, снизился с 13 до 6.1 тыс. м³/с, зато средний минимальный увеличился с 433 до 1500 м³/с.

До создания Красноярской ГЭС единственный пик затопления поймы о-ва Черемухов приходился на май–июнь, реже был смещен на начало июля. Он совпадал с прохождением максимальных расходов воды и взвешенных наносов. В настоящее время отмечается несколько пиков: зимой, в декабре–марте, при небольших (1.5–3 тыс. м³/с) расходах, второй – в мае, за счет подпора со стороны Ангары, и третий – в июле–сентябре, при сбросах воды из водохранилища Красноярской ГЭС; причем последний пик случается не каждый год.

После сооружения ГЭС среднегодовой расход взвешенных наносов в нижнем бьефе снизился более, чем в 20 раз. Если при естественном режиме он составлял 230 кг/с, то в 1967–1989 гг. – всего 11 кг/с. Среднемесячные расходы взвешенных наносов в половодье (май–июнь) до зарегулирования стока составляли 400–800 г/м³, достигая в отдельные годы (1962, 1966) 16000–22000 г/м³. После 1967 г. максимальные среднемесячные значения расходов колебались в пределах 10–60 г/м³, в зимние месяцы – 1–10 г/м³.

Подобно стоку воды, сток взвешенных наносов в условиях регулирования стал более равномерным. Если до сооружения гидроузла в весеннее половодье (апрель–июнь) проходило 82.5% взвешенных наносов, а в осенне-зимний период их сток не превышал 1.5% общего объема стока, то после 1967 г. в холодное время (октябрь–март) проходит более 35% стока наносов, т.е. примерно столько же, сколько и в весенний период.

По наблюдениям на г/п Базаиха, проводившимся в 1950–1977 гг., гранулометрический состав взвешенных наносов как в естественном, так и в зарегулированном режиме очень тонкий. Преобладают илистые частицы (0.01–0.05 мм и менее), доля которых при расходах 2500–4500 м³/с достигает 80–90%. В отдельные годы до половины наносов (1977 г. – 47.7%) составляли частицы диаметром 0.005–0.01 мм. Отлагаясь на пойме, они формировали суглинистый аллювий.

Судя по русловым съемкам и аэроснимкам, на месте современной низкой поймы у оголовка о-ва Черемуховый длительное время (до середины 60-х годов XX в.) существовал лишенный растительности галечный побочень клиновидной формы размером 500 × 200 м. Он затапливался на 3–4 месяца в году, причем в наиболее благоприятный для растительности период – с мая по август. Такой режим препятствовал его зарастанию и превращению в пойму. В этот период первые куртины кустарников появились только на наиболее высокой гриве, проходящей вдоль Черемуховской протоки.

После 1967 г. (начало строительства Красноярской ГЭС) условия затопления побочня изменились – оно стало происходить в зимнее время, а в теплый период года отмель преимущественно находилась над водой. Это способствовало появлению растительности и на остальной ее части. Поскольку трава и кустарник резко повышают шероховатость поверхности, то увеличилось отложение мелких песчаных и илистых наносов.

На космическом снимке, датированном 1971 г., растительность покрывает уже около 3/5 поверхности массива. В настоящее время открытые галечные высыпки занимают только незначительные участки по периферии поймы, которая за последние 30 лет существенно увеличилась в размерах, а мощность перекрывающего галечники песчано-суглинистого аллювия местами превышает 1.4 м.

Весенне-летнее затопление о-ва Черемухов после создания плотины отмечалось 10 раз, причем после 1988 г. – всего в трех случаях (1992, 1995 и 1997 гг.). Высокие и мощные половодья были всего 4 раза (1972, 1973, 1978 и 1988 гг.), когда пойма затоплялась на относительно длительный срок (15–40 суток), большую (1–5 м) глубину потоком с расходом свыше 6000 м³/с, с максимальным расходом наносов. По всей видимости, эти половодья были наиболее благоприятны для переноса и отложения прослоев мелко- и тонкозернистых песков. В 1981–1997 гг. в зимний период затопления поток отличался небольшими скоростями течения и очень малой мутностью. Это основной период накопления тонких частиц и формирования поверхностного торфяно-суглинистого чехла.

Результаты ландшафтных, литологических и радиометрических исследований

Состав поверхностных отложений закономерно меняется вглубь массива: прирусловой вал и отмели по берегам сложены галечниками, в понижениях и на склонах грив по периферии массива преобладают мелко- и тонкозернистые пески. В центре массива гривы сложены средними суглинками с включениями торфа, мощность которых возрастает с удалением от русла с 10–15 см до 1 м.

На рис. 3 представлен ландшафтно-радиационный профиль с результатами измерений запаса ¹³⁷Cs и оценкой толщины слоя “чистых” наносов (L_0). Практически везде загрязненный аллювий перекрыт сверху более “чистыми” наносами мощностью 4–12 см, на пикете 16 – до 18 см. Параметр L_0 (“чистые” наносы) может быть использован для оценки скорости накопления аллювия.

Пологие гривы и ложбины со стороны основного русла Енисея (пикеты 2, 4, 5) имеют высоту 3.5–3.7 м над урезом. Максимальное осаждение ¹³⁷Cs (100–386 кБк/м²) здесь связано с интенсивным отложением аллювия вблизи русла. Мощность песчано-илистых наносов составляет 38–44 см, мощность условно “чистых” наносов – 11–19 см, т.е. максимум загрязнения захоронен на глубине 11–18 см. В межгривном понижении (пикет 3), сложенном галечником, запас ¹³⁷Cs достигает минимального значения – 7.5 кБк/м². В более старом межгривном понижении (пикеты 6, 7), где мощность торфяно-суглинистого аллювия достигает 20–30 см, запас ¹³⁷Cs возрастает до 147–194 кБк/м².

На центральной плоской гриве высотой 2.9–3.1 м и шириной 80 м толщина тонких отложений всего 20–40 см (пикеты 8–17). Далее следует еще одно межгривное понижение (пикеты 18–21) шириной около 35 м, которое практически полностью замыто суглинистым аллювием, слой которого здесь превышает 1 м. Днище этого понижения всего на 40 см ниже, чем вершина гривы, кровля галечников здесь залегает на 1–1.5 м ниже, чем на центральной гриве. В пойменной фации аллювия присутствуют два органогенных прослоя. Запас ¹³⁷Cs здесь меньше (80–270 кБк/м²), максимум загрязнения на пикете 16 расположен на глубине 16 см, для пикета 18 – на глубине 4–5 см (рис. 4).

В строении пойменной толщи отмечаются две закономерности. Первая – наличие в сравнительно однородном массиве суглинков выдержанного по простирацию горизонта мелкозернистых песков мощностью от 1–3 до 10 см. В прирусловой части он лежит почти на поверхности, в центральных частях массива – на глубине от 15 до 45 см. Вторая – образование горизонта с высоким содержанием (до 50%) торфа и растительных остатков в верхних 10–40 см. В меньшем количестве органогенные включения встречаются по всей толще пойменной фации. Это необычно для оголовков островов, находящихся фактически на стрежне потока. Такой характер отложений свидетельствует о достаточно сложной системе течений, возникающих здесь в половодье. Большая часть наносов и их наиболее крупные фракции откладываются на гривах и в понижениях по периферии массива, здесь же достигает и наибольшей мощности слой мелкозернистых песков. Внутренняя часть массива оказы-

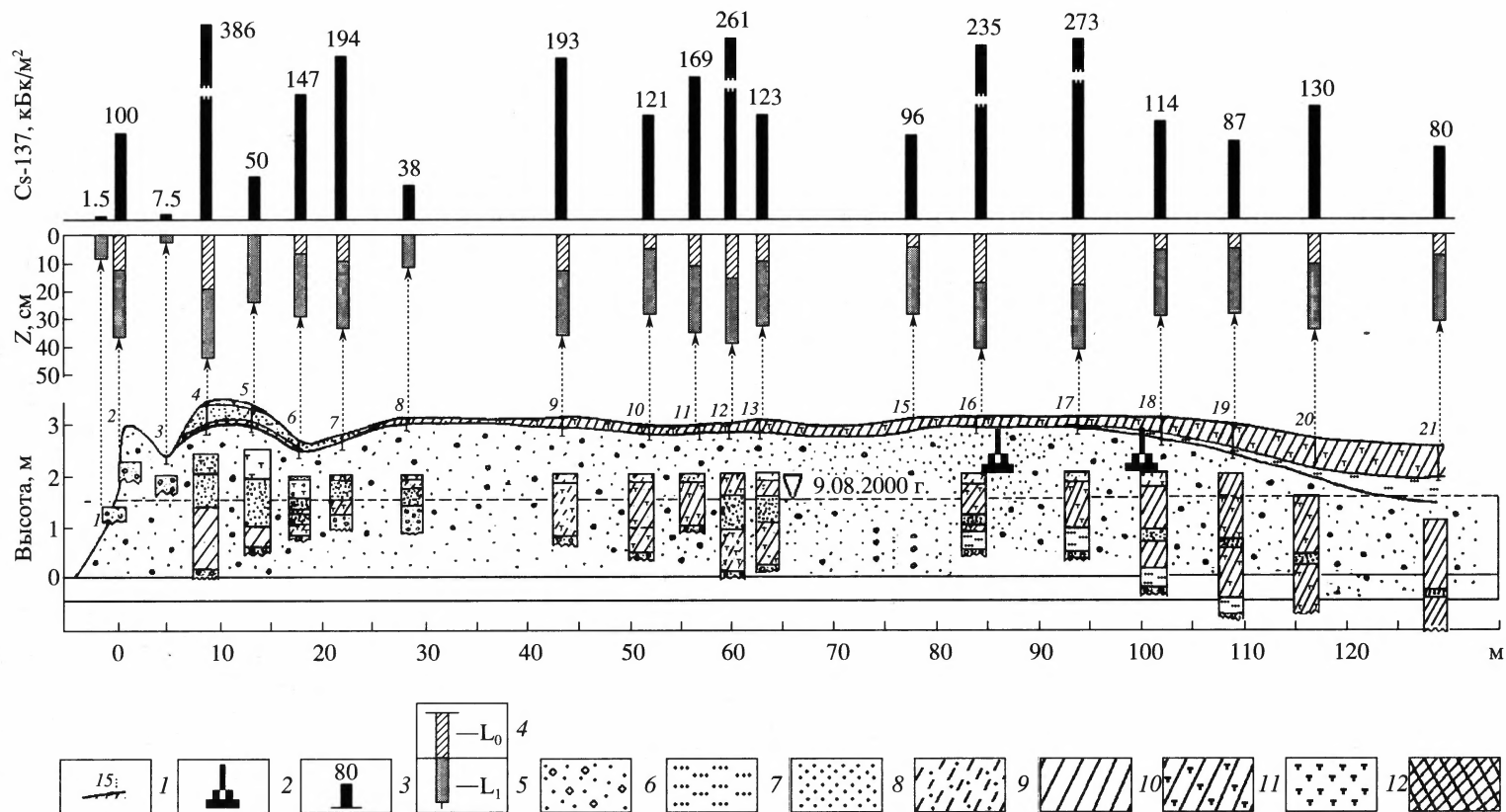


Рис. 3. Ландшафтно-радиометрический профиль на о-ве Черемухов

1 – номер пикета; 2 – погруженный детектор; 3 – ¹³⁷Cs, kBq/m² КОРАД; наносы (за период): 4 – L₀ – “чистые” (1992–2000 гг.); 5 – L₁ (1966–1991 гг.); 6 – галька; песок; 7 – тонкий заиленный, 8 – мелкий; суглинок; 9 – легкий опесчаненный, 10 – средний, 11 – средний оторфованный; 12 – торф; 13 – дернина

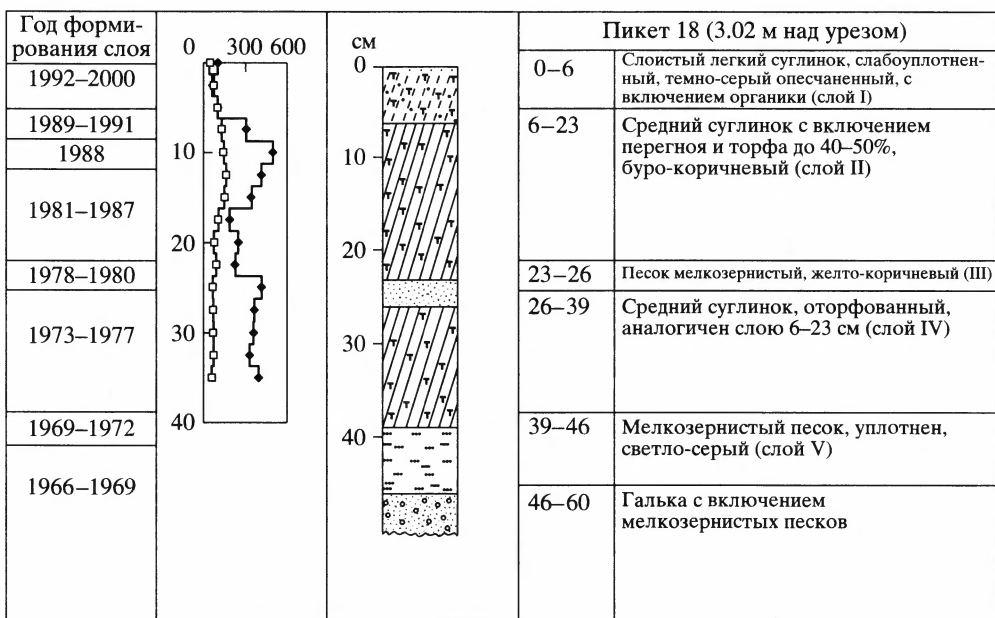
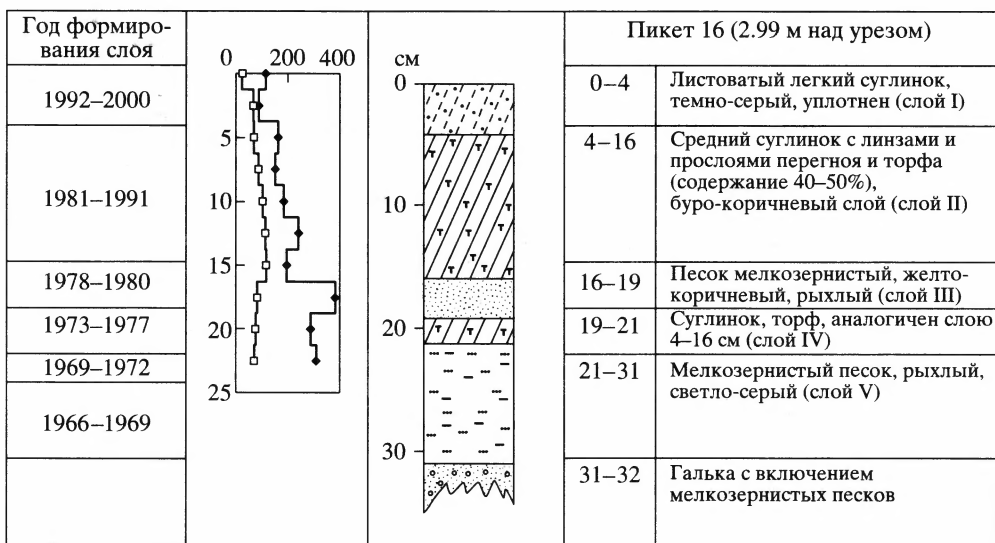


Рис. 4. Распределение радионуклидов в аллювиальных отложениях о-ва Чермухов (пикеты 16, 18)
 1 – удельная активность по сумме ^{60}Co и $^{152}, ^{154}\text{Eu}$, Бк/кг, 2 – удельная активность по ^{137}Cs , Бк/кг. Остальные обозначения см. рис. 3

ваается в скоростной тени, где отлагаются очень тонкие, илистые, наносы, причем преимущественно в понижениях рельефа, из-за чего поверхность поймы постепенно выравнивается. Высокое содержание торфа и перегноя объясняется характером растительности. В этой части поймы преобладают высокотравные, осоково- и злаково-разнотравные луга с высотой травостоя 80–150 см и запасом фитомассы до 80–100 ц/га, а также густые ивняки. При отмирании растительности ежегодно образуется большой объем ветоши, сопоставимый с объемом поступающих на пойму тонких

наносов. С течением времени из этого материала на поверхности поймы образуется торфяно-суглинистый чехол, на котором формируются своеобразные иловато-торфяно-глеевые маломощные почвы.

Анализ разрезов в центральном понижении (пикеты 16, 18, рис. 4) позволил провести реконструкцию формирования осадочного чехла. На галечниках залегают средней плотности мелкозернистые пески, мощность которых составляет 7–10 см, на пикетах 20 и 21 – до 20 см (слой V). Верхний слой этих песков, скорее всего, сформировался в 1969–1972 гг., когда массив затапливался еще в весенне-летнее половодье. Основная их масса, особенно в нижней части разреза, вероятнее всего откладывалась в половодья 1966 г. (41 день затопления при расходах более 10000 м³/с, в том числе 10 дней при расходе 20000 м³/с), а также в половодье 1969 г. (длительность летнего затопления превышала 50 дней, в том числе при расходе свыше 6000 м³ – 11 дней). О-в Черемухов затапливался летом до 1972 г., затем были зимние паводки. Вновь летнее половодье отмечалось только в 1978 г. (май, 21 день) и 1980 г. (20 дней, июль–август). В 1979 г. остров практически не затапливался. Мутность потока в летнее половодье в 4–10 раз выше, чем в зимнее, летом существенно больше (5–11 тыс. м³/с против 1.5–3 тыс. м³/с) расходы воды и скорости течения.

Выполненная по соотношению ¹⁵⁴Eu/¹⁵²Eu датировка абсолютного возраста нижнего слоя пойменных отложений (до галечника) на приверхе о-ва Черемухов (отбор проб в сентябре 1997 г. на глубину 62 см) определяет возраст этого слоя периодом 1968–1970 гг. [2], что вполне согласуется со сроками затопления. Активность этого слоя измерена погружным детектором на пикете 16 на глубине 22.5 см, она составляет по ¹³⁷Cs 310 Бк/кг (176–334 Бк/кг на глубине 47–62 см [2]), суммы ⁶⁰Со и ^{152,4}Eu – 72 Бк/кг (58–89 Бк/кг на глубине 47–62 см [2]).

Слой средних оторфованных суглинков (IV) мощностью от 2 см (пикет 16) до 13 см (пикет 18) накапливался, скорее всего, в период зимних половодий в 1973–1977 гг., с невысокой мутностью и малыми скоростями потока. Такой вывод может быть сделан на основании того, что вышележащий тонкий (до 3 см) слой мелкозернистых желтовато-коричневых песков (слой III), залегающий в 19–26 см от поверхности, вероятно, является следом мощных половодий 1978 и 1980 гг. Этот слой характеризуется повышенной активностью ¹³⁷Cs – 413 Бк/кг (пикет 18) и 383 Бк/кг (пикет 16). По данным [2] на глубине 23–27 см также установлен слой с аномально высоким содержанием ¹³⁷Cs (1334 Бк/кг). Согласно выполненным расчетам [2], он может быть датирован 1977 ± 2 года. Таким образом, средний темп осадконакопления оторфованных средних суглинков (слой IV) в разных частях о-ва Черемухов составил 0.5–3.25 см/год. Песчаный прослой (III) образовался за два года – скорость осадконакопления – 1.5 см/год.

Торфяно-суглинистый слой II формировался в спокойных условиях в течение 1981–1992 гг. при расходах воды не превышающих 6650 м³, и малой глубине потока половодья. Характерно, что в опорном разрезе (таблица) максимум загрязнения по ¹³⁷Cs не зафиксирован, на глубине 10–15 см наблюдается незначительное увеличение ⁶⁰Со, тогда как увеличение ¹⁵²Eu – на глубине 15–18 см. По данным гамма-каротажа (пикет 18) на глубине 10 см повышается концентрация ¹³⁷Cs. Вероятнее всего, это результат короткого, но мощного паводка 1988 г. (август, расход воды свыше 11000 м³/с). Верхний горизонт (0–5 см) отличается резким снижением содержания радионуклидов, скорее всего, он начал накапливаться с 1992 г. после резкого сокращения сбросов радиоактивных отходов в р. Енисей.

Разрезы на плосковершинной гриве (пикеты 8–15) отличаются меньшей мощностью тонких отложений (15–45 см), которая тем меньше, чем больше высота гривы над урезом. Пойменный аллювий откладывался первоначально в наиболее низких местах, и только по мере зарастания гривы тонкий чехол этих отложений появился и на повышениях. Здесь практически отсутствует песчаный слой V, следовательно, до 1973 г. галечники располагались почти на всей поверхности гривы. Суглинистый слой IV (1973–1977 гг.) также исчезает по мере приближения к руслу (мощность

**Вертикальное распределение техногенных радионуклидов
в колонке пойменных отложений р. Енисей (о-в Черемухов)**

Слой, см	Удельная активность, Бк/кг				$^{154}\text{Eu}/^{152}\text{Eu}$
	^{60}Co	^{137}Cs	^{152}Eu	^{154}Eu	
0–5	48.5	113.8	31.6	8.7	0.28
5–10	138.2	153.9	74.5	13	0.17
10–15	215	145.5	111.3	19	0.17
15–18	182	256.6	183.2	21.3	0.12
18–23	83	452.5	137	33.2	0.24
23–27	315	1334	318	50.6	0.16
27–32	81.6	316	81	9.6	0.12
32–37	136	407	150	18.2	0.12
37–42	106	234	110.4	15.8	0.14
42–47	119.3	298.6	168.6	20.5	0.12
47–52	61.6	176	72.6	7.9	0.11
52–57	91.7	196	59	3.9	0.07
57–62	35.3	334	58.4	7.3	0.13

Примечание. Отбор проб выполнен в сентябре 1997 г. [2]. Данные пересчитаны на август 2000 г.

16 см на пикете 18 и 2 см на пикете 16). Зато здесь четко выражен относительно мощный песчаный слой III, (пикеты 8, 12, 13), датируемый 1978–1980 годами. По-видимому, появившаяся к тому времени на гриве густая растительность сыграла роль барьера – за эти половодья здесь отложилось от 5 до 12 см аллювия.

В прирусловых межгрядных понижениях (пикеты 4–7) хорошо выражен слой III мощностью 3–20 см и слой II (5–20 см). В прирусловой части гривы (пикеты 7–10) отложения совсем молодые. На галечниках залегает или слой III (1978–1980 гг.), или даже более молодой торфяно-суглинистый слой II (1981–1997 гг.). Темп осадконакопления составил 0.5–1 см/год. Обращает внимание разрез восьмого пикета: горизонт II (6 см) здесь обладает явной тонкой слоистостью (8 прослоев по 3–10 мм), что свидетельствует о его формировании по крайней мере в течение 8 половодий, ориентировочно с 1981 по 1996 годы. Слой I (1997–2000 гг.) имеет мощность 1–4 см.

Выводы

Представленные результаты комплексных исследований показывают перспективность ландшафтно-радиационных методов как в исследовании современной радиоэкологической обстановки, так и реконструкции радионуклидного загрязнения поймы р. Енисей. На основе результатов радиометрической съемки, гамма-каротажа, литологического и гидрологического анализов выполнена оценка скорости осадконакопления в различных ландшафтных позициях на о-ве Черемухов. Маркирующим горизонтом, датируемым 1978–1980 гг., является прослой мелкозернистых желто-коричневых песков, имеющих сплошное распространение. Определив уровень загрязнения радионуклидами природных комплексов на ключевых участках долины с помощью ландшафтной съемки, возможно оценить радиоактивное загрязнение поймы Енисея в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Ю.В., Легин В.К., Шишлов А.Е. и др. Изучение поведения $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{137}Cs в системе река Енисей – Карское море // Радиохимия. 1999. Т. 41. № 2. С. 181–186.
2. Гритченко З.Г., Кузнецов Ю.В., Легин В.К., Струков В.Н. Хронология формирования радиоактивно-загрязненных пойменных и донных отложений реки Енисей с помощью радиоактивных изотопов европия // Радиохимия. 2002. Т. 44. № 2. С. 185–190.

3. *Vakulovsky S.M., Tertyshnik E.G., Borodina T.S.* Migration of Radioactive Contaminants Discharged into the Yenisei River by the Krasnoyarsk Mining and Chemical Complex // Proceedings of the Ecorad 2001 conference, Aix-en-Provence. France. 2001. V. 2. P. 673–676.
4. *Голосов В.Н.* Использование радиоизотопов при исследовании эрозионно-аккумулятивных процессов // Геоморфология. 2000. № 2. С. 26–33.
5. *Ely L.L., Webb R.H., Enzel Y.* Accuracy of post-bomb ^{137}Cs and ^{14}C in dating fluvial deposits // Quaternary Research. 1992. V. 38. P. 196–204.
6. *Walling D.E., He Q.* Use of fallout ^{137}Cs in investigations of overbank sediment deposition on river floodplains // Catena. 1997. V. 29. P. 263–282.
7. *Baker V.R.* Paleoflood Hydrology and Extraordinary Flood Events // J. of Hydrology. 1987. V. 96. P. 79–99.
8. *Chesnokov A.V., Fedin V.I., Govorun A.P. et al.* Collimated detector technique for measuring a ^{137}Cs deposit in situ under a clean protected layer // Appl. Radiat. Isot. 1997. V. 48. № 9. P. 1265–1272.
9. *Potapov V.N., Ivanov O.P., Chirkin V.M., Ignatov S.M.* A dip detector for in situ measuring of ^{137}Cs specific soil activity profiles // IEEE Trans. Nucl. Sci. 2001. V. 48. № 4. P. 1194–1197.
10. *Линник В.Г., Говорун А.П., Потапов В.Н. и др.* Ландшафтные особенности распределения радионуклидов в пойме р. Енисей в ближней зоне влияния горно-химического комбината // Тр. межд. конф. “Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях” (Москва, 24–26 апреля 2000 г.). С-Пб.: Гидрометиздат, 2000. Т. 1. С. 543–548.
11. *Носов А.В., Ашанин М.В., Иванов А.Б., Мартынова А.М.* Радиоактивное загрязнение р. Енисей, обусловленное сбросами Красноярского горно-химического комбината // Атомная энергия. 1993. Т. 74. Вып. 2. С. 144–150.

Московский государственный университет
 Географический факультет,
 ГЕОХИ РАН, РНЦ “Курчатовский институт”

Поступила в редакцию
 15.06.2004

**RECENT ACCUMULATION DYNAMICS IN THE YENISEI FLOOD PLAIN
 ON THE BASIS OF LANDSCAPE-HYDROLOGIC, LITHOLOGIC
 AND RADIO-DATING ANALYSIS (CHEREMUKHOV ISLAND AS AN EXAMPLE)**

V.G. LINNIK, V.V. SURKOV, V.N. POTAPOV

S u m m a r y

Layer by layer dating of young (the last 30 years) alluvial deposits was carried out. The sedimentation rate within the Yenisei flood plain after the constructing of the Krasnoyarskaya water-power was evaluated. It reaches 0.5–3.3 mm/year.