

Экспресс-оценка радиационного состояния природных и антропогенных ландшафтов для экологического планирования

Т.М. Кудерина¹, Е.А. Грабенко²

¹Институт географии РАН, ст.н.с.,
119017 Москва, Старомонетный пер., 29
tmkud@yandex.ru

²Кавказский государственный природный биосферный заповедник им. Х.Г.Шапошникова, ст.н.с.,
385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Советская, д. 187
grabenko@inbox.ru

В статье представлены данные полевой дозиметрии, проведенной в регионах с повышенной естественной природной и технологически измененной радиоактивностью. Маршрутные измерения проводились в горных регионах Кавказа и Приморья, относящихся к территориям с высоким потенциалом радиоактивной опасности, и в зоне влияния Курской атомной станции. По результатам измерений определены участки с неблагоприятной радиоактивной обстановкой. Эти данные необходимо учитывать при экологическом планировании развития регионов.

Ключевые слова: дозиметрия, ландшафты, экологическое планирование, естественная природная и технологически измененная радиоактивность

В основе экологического планирования лежит разработка научно обоснованных норм использования (эксплуатации) природных ресурсов или территорий без нарушения экологического равновесия в условиях интенсивного или экстенсивного развития промышленности, сельского хозяйства, урбанизации, рекреации и др. [4]. Для этого необходимы знания о природных особенностях территории, о латеральных и радиальных (горизонтальных и вертикальных) связях, об изменениях во взаимодействии компонентов ландшафтов при имеющемся и планируемом антропогенном воздействии.

В последние десятилетия в связи с ростом атомной энергетики и расширением круга проблем, решение которых связано с использованием искусственных радионуклидов, одной из важнейших является задача оценки естественной природной и технологически измененной радиоактивности. Взаимодействие природных и антропогенных составляющих привело в целом к увеличению радиационной нагрузки на экосистемы. Экологическое планирование должно учитывать как естественный радиационный фон территории, на которой ведется хозяйственная деятельность или расположена селитебная зона, так и техногенное влияние действующих предприятий.

Радиационный фон ландшафта – это непре-

менный компонент условий обитания в биосфере [1]. В его формировании принимают участие все источники ионизирующего излучения. Естественный природный фон складывается из трех составляющих – космической радиации (протоны, альфа-частицы, гамма-лучи), излучения естественных радиоактивных веществ, присутствующих в почве, и излучения тех радиоактивных веществ (также естественных), которые попадают к нам в организм с воздухом, пищей, водой.

Оценка состояния территории при экологическом планировании призвана обеспечить систему принятия решений сведениями об опасных воздействиях и возможных критических ситуациях, результатами мониторинга состояния среды, альтернативными сценариями развития территории, вариантами мероприятий по снижению риска, предотвращению ущерба или его смягчению [8]. Комплексность задачи требует ландшафтно-экосистемного подхода к проведению региональной оценки экологических угроз [5, 9]. При этом современные ландшафты должны рассматриваться как поле взаимодействия природных и антропогенных компонентов. Полевая дозиметрия выступает как экспресс-оценка состояния природных и антропогенных ландшафтов с большим охватом площадей исследования. По мере выявления проблемных районов должно проводиться дорогостоящее подробное изучение всех компонентов ландшафтов и их взаимодействие.

Следует иметь в виду, что радиационным мониторингом охвачена далеко не вся территория страны и экспресс-оценка в этой ситуации представляется полезной.

Методика исследований

Суммарная радиационная доза, создаваемая естественным излучением, зависит от географического положения территории и довольно сильно варьирует в различных районах Земли. В Европейской части РФ мощность эквивалентной дозы, создаваемой естественным излучением, колеблется от 0,05 до 0,2 мкЗв/час, т. е. от 0,44 до 1,75 мЗв/год (44–175 мбэр/год); техногенно-усиленный радиационный фон варьирует от 2 до 4 мЗв/год. Международная комиссия по радиационной защите считает, что вредные эффекты могут наступать при эквивалентных дозах не менее 1,5 Зв/год (150 бэр/год), а в случаях кратковременного облучения – при дозах выше 0,5 Зв (50 бэр) [1].

После Чернобыльской трагедии усилился радиационный мониторинг территории РФ для получения выводов о зависимости изменения уровней радиоактивного загрязнения от ландшафтных факторов в большом временном промежутке. Принципы таких исследований были разработаны в сотрудничестве географов и геохимиков [13]. Тогда же ими были предложены методы картографического отображения радиационного загрязнения территории. Наша дозиметрическая съемка лежит в русле этого направления.

Одним из основных исследуемых радионуклидов в дальних чернобыльских выпадениях является ^{137}Cs . Были разработаны маршруты экспериментальных исследований в зоне восточного чернобыльского следа с их привязкой к автоморфным, транзитным и аккумулятивным ландшафтам для оценки влияния процессов латерального массопереноса в сопряженных ландшафтах. Наиболее эффективным методом измерений является комбинация аэро-гамма-спектральной съемки и наземных определений. Это дорогостоящий метод, требующий проведения долговременного исследования радиоактивного загрязнения территории, который целесообразно применять на участках с уже выявленными источниками эмиссии и в ореолах рассеяния.

Одним из экспресс-методов определения радиоактивности в природных и антропогенных

ландшафтах является полевая дозиметрия, позволяющая быстро устанавливать объекты и зоны с повышенным радиационным фоном. Достоинством метода полевой дозиметрии является то, что в границах исследуемой территории он позволяет набирать большое число измерений и при их осреднении выявлять ориентировочный уровень загрязнения выделенного района и компонентов ландшафта с тем, чтобы намечать объекты и участки территории для последующего исследования с использованием спектрометрии.

В 2008–2013 гг. в рамках комплекса ландшафтно-геохимических работ по теме «Динамика ландшафтов в зонах антропогенного воздействия» нами были проведены полевые дозиметрические исследования по изучению радиоэкологического состояния природных ландшафтов в горных районах Кавказа и Приморья. Также детальная радиационная съемка была проведена в Курской области¹, рассматриваемой в качестве модельного региона по оценке антропогенного радиационного влияния (Курчатовский промышленный узел). Были выявлены проблемные участки, которые должны учитываться при экологическом планировании.

В наших исследованиях измерения мощности эквивалентной дозы проводились для сравнительной оценки естественной радиоактивности природных и антропогенно измененных ландшафтов при помощи сертифицированного портативного дозиметра-радиометра «Эко-1» фирмы «ЭкоРАД». Измерения проводились посредством маршрутной съемки в циклическом и однократном режиме определения дозы фотонного излучения. Показания прибора выражались в микрозивертах и микрорентгенах в час. Были произведены более тысячи измерений, как в отдельных точках, так и по всему маршруту. Это позволило охватить одновременной дозиметрической съемкой большие территории и выявить локальные места с повышенной радиацией.

При наземных измерениях и расчетах дозовых характеристик важно учитывать влияние микро-рельефа и запасов органического вещества почвы. Почвенная органика и наземная биота могут ослаблять мощность дозы так же, как и перекрытие источника радионуклидов осадочными породами.

Съемка на изучаемой территории проводится обычно посредством пешеходных маршрутов от автономных позиций к подчиненным по долинам

¹ В этом регионе значительный объем полевых измерений и обработка их результатов были выполнены И.В. Замотаевым.

и разломным зонам в горной местности, а на равнинах – от источников загрязнения к фоновым ландшафтам в зависимости от имеющихся видов антропогенной деятельности. По маршруту в точках измерений фиксируются географические координаты и высота над уровнем моря, проводится краткое описание элементарного геохимического ландшафта, отмечаются особые условия. Измерения ведутся в 3–5 кратной повторности в разных природных и техногенных компонентах ландшафта (почва, горные породы, водные объекты, растительность, строения, дорожное покрытие и т.д.).

Особым геохимическим индикатором при изучении радиоактивности в ландшафтах является концентрация радона. В РФ выделено 12 территорий потенциально опасных по радону [11]: Волго-Камская, Кольская, Ухта-Северо-Уральская, Северо-Кавказская, Енисейская, Прибайкальская, Анабарская, Бурлинская, Восточная часть Дальневосточно-Южно-Сибирской, Северо-Восточная, Приморская и Камчатская.

Наши исследования также подтверждают проблемность Северо-Кавказского и Приморского регионов по радиоактивности. Необходимо планировать дополнительные исследования по радиоактивным элементам в более широких масштабах с целью детализации и уточнения выявленных опасных радиоактивных площадей.

Результаты исследований

На Северном Кавказе радиационная обстановка изучена довольно хорошо [12]. Наши полевые дозиметрические исследования проводились в площадном и маршрутном режиме в долине р. Баксана от вершины Эльбруса до выхода на предгорные равнины, в Кавминводах и в долине р. Теберды (табл. 1). В целом для главной долины

Баксана и ее основных боковых долин средние показатели не превышают фоновые (25 мкР/ч). Максимальные значения приурочены к разломным зонам в боковых долинах, а также отмечаются на Восточной вершине (часто маркируются выходом на дневную поверхность минеральных источников – нарзанов).

Территории поселков долины Баксана не выделяются повышенным фоном. При этом возле многих строений отмечались относительно повышенные показатели, в целом, однако, не выходящие за рамки показателей, характерных для данного района. Местное население использует для строительных и отделочных работ горные породы с повышенной радиоактивностью (гранит, лавы, кристаллические сланцы, ярко окрашенные сланцы, приуроченные к нарзанам источникам), а также привозной, возможно, не сертифицированный строительный материал (цемент, щебень, песок). Очевидно, именно это является причиной повышенных значений радиационных показателей вблизи строений и дает основание говорить о технологически измененном радиационном фоне территории, который важно контролировать в дальнейшем.

В районе Кавказских Минеральных Вод необходим усиленный постоянный радиационный мониторинг. Повышенная радиация связана здесь с разработкой урановых руд в основных лакколитах (горы Змейка и Бештау). Для этого же региона характерно широкое освоение территории с плотной селитебной застройкой и большими курортно-рекреационными площадями. В связи с этим особому риску подвергаются находящиеся на этой территории поселения (пос. Лермонтов, Второафонский монастырь, дачные поселки).

Таким образом, проведенные измерения показали, что радиационная обстановка района При-

Таблица 1. Результаты измерения эквивалентной дозы радиации (мкР/ч) в бассейне Баксана

Объект	Кол-во измерений	Среднее значение эквивалентной дозы радиации	Максимальное значение эквивалентной дозы радиации
дол. Баксан	53	23,40	38
пос. Эльбрус	150	26,56	44
пос. Тегенекли	69	26,90	51
Ущ. Адыл-Су	312	34,92	55
Ущ. Ирик	282	34,91	59
гора Эльбрус	158	25,02	42
Пос. Азау	119	24,02	42
Гора Чегет	12	19,42	25
	1036	26,89	59

* Жирным шрифтом выделены показания выше допустимой эквивалентной дозы, равной фоновой 25 мкР/ч.

эльбруссы благополучная, показателей негативных для жизни человека отмечено не было. Превышения фона (до трех раз по сравнению со средним) отмечены в зонах разломов, местах выхода подземных источников – нарзанов.

Однако, установленные повышенные показания радиации вблизи строений говорят о необходимости осуществления в дальнейшем строгого контроля качества строительной продукции. Территория Кавминвод, являющаяся потенциально опасным районом по радиоактивному загрязнению, требует жесткого радиационного мониторинга. Очевидно, что развитие этой территории должно осуществляться на основе соблюдения в полном объеме принципов экологического планирования.

Приморский регион по радиоактивному загрязнению также выделяется как потенциально опасный. Площадной дозиметрической съемкой были охвачены заповедник «Кедровая Падь», Уссурийский государственный природный заповедник (УГПЗ) и Сихотэ-Алинский государственный природный биосферный заповедник (САГПБЗ) (табл. 2). Полевые радиационные измерения проводились также в крупных населенных пунктах по маршруту Владивосток–Терней. Данные сгруппированы по отношению к элементарным ландшафтно-геохимическим системам, во второй колонке даны средние показатели эквивалентной дозы радиации.

Заповедники «Кедровая Падь» и Уссурийский, не подверженные непосредственным антропоген-

ным воздействиям (за исключением трансграничных), являются фоновыми территориями. Максимальные радиационные показатели характерны здесь для выходов гранитоидов. По мере увеличения запасов органики в ландшафте эквивалентная доза уменьшается. Однако тренды дозиметрических показателей разнонаправлены по геохимической катене [3].

В «Кедровой Пади» максимальные показатели (19 мкР/ч) характерны для автономных ландшафтов, занятых злаково-разнотравными дубняками, а минимальные (10 мкР/ч) для суперэквивалентных – ручьев и ключей средней части долины, отличающихся максимальным накоплением органики на рыхлых аллювиальных отложениях и промывным режимом.

В Уссурийском заповеднике наоборот: минимальные величины характерны для вершин хребта, покрытых березовым лесом (12 мкР/ч). На склонах долины распространены хвойно-широколиственные чернопихтарники на бурых почвах с мощным опадом, перекрывающих курумник, сложенный слоисто-призматическим песчаником. Средняя эквивалентная доза здесь составляет 13–14 мкР/ч. Максимальные показатели (18 мкР/ч) приурочены к днищу основной долины, где формируются богатые органикой почвы.

Дозиметрические маршрутные измерения в Сихотэ-Алинском государственном природном биосферном заповеднике выявили значительную дифференциацию показаний. Минимальные значения (10–15 мкР/ч) характерны для молодых

Таблица 2. Показатели дозиметрической съемки в заповедниках «Кедровая Падь», Уссурийский и Сихотэ-Алинский, 2013 г.

Объект	Среднее значение эквивалентной дозы радиации, мкР/ч
«Кедровая Падь»: верхние части хребта у г. Крестовой	18–19
«Кедровая Падь»: долинные комплексы бассейна р.Кедровки	15–16
«Кедровая Падь»: долины верхних притоков р.Кедровки	10–14
УГПЗ: днище долины	18
УГПЗ: верховья ручьев	16
УГПЗ: подвершинная часть правого борта долины, перевал	14
УГПЗ: курум на вершине	13
УГПЗ: вершина над перевалом	12
САГПБЗ: выходы интрузивных пород	37–40
САГПБЗ: верхняя граница леса и мохового курумника, перевалы, верховья ручьев	32–35
САГПБЗ: выходы гранитоидов по ключам, морским террасам, курумный щит, дорожное полотно	25–30
САГПБЗ: подножие склонов	20–25
САГПБЗ: русла малых водотоков, осадочный фрагментарный чехол	15–20
САГПБЗ: склоны и морская терраса	10–15

* Жирным шрифтом выделены показания выше допустимой эквивалентной дозы, равной фоновой 25 мкР/ч.

Таблица 3. Показатели дозиметрической маршрутной съемки в Приморье, 2013 г.

Объект	Среднее значение эквивалентной дозы радиации, мкР/ч
Заповедник «Кедровая Падь»	10–19
Уссурийский государственный природный заповедник	12–18
г. Уссурийск	18
с. Ивановка	19
г. Арсеньев	24
пос.г.т. Кавалерово	21–23
г. Дальнегорск	24
пос.г.т. Пластун	>29
пос.г.т. Терней	23
Сихотэ-Алинский государственный природный биосферный заповедник	10–48

* Жирным шрифтом выделены показания выше допустимой эквивалентной дозы, равной фоновой 25 мкР/ч.

морских террас, сложенных рыхлыми отложениями, на которых хорошо развиты хвойно-широколиственные леса с мощным горизонтом опада. Нижние части склонов с пролювиальным чехлом, русла малых водотоков, сложенные кварцитами, с большим количеством мелкозема и органических остатков, а также ступени выколаживания, заросшие дубовыми лесами, характеризуются средними показателями эквивалентной дозы (15–20 и 20–25 мкР/час, соответственно).

Превышение допустимой эквивалентной дозы >25 мкР/час характерно для выходов гранитоидов, курумных щитов, разломов, приуроченных к отдельным вершинам и осевому хребту. Максимальные дозиметрические показатели фиксируют выходы вертикально трещиноватых слоистых красно-черных интрузивных пород на дневную поверхность вдоль глубокого разлома по побережью Охотского моря (м. Бакланий >48 мкР/час).

Радиометрические показания, полученные нами в ходе полевых исследований Приморского региона, сходятся с данными и выводами о миграции и концентрации ^{137}Cs в различных геохимических обстановках [7]. Проведенные нами дозиметрические измерения показывают, что основная часть радиоактивных элементов сосредоточена в органогенном горизонте, где, вероятно, происходит их сорбция гумусовым веществом. При смене сильноокислой обстановки на слабоокислую происходит резкое уменьшение количества водорастворимого (мобильного) ^{137}Cs (устное сообщение коллеги геолога). Поверхностно аккумулятивный характер вертикального распределения ^{137}Cs в почвах обусловлен наличием в профиле почв сорбционного и щелочного геохимических барьеров [10]. Процессы латерального перераспределения концентраций ^{137}Cs выраже-

ны слабо. По-видимому, сорбционная способность органогенного горизонта почв, физико-химические формы нахождения в них ^{137}Cs существенно затрудняют миграцию радиоактивного цезия и препятствуют его перемещению в подчиненные ландшафты [7].

Таким образом, на территории Сихотэ-Алинского заповедника радиоактивные элементы из подстилающих интрузивных пород поступают в ландшафты только при обнажении этих пород на вершинах или по разломам, фиксирующимся ключами и мелкими реками. При наличии растительности с большим опадом или рыхлых отложений достаточной мощности происходит экранирование радиации. В условиях горного рельефа радиоактивность проявляется только на крупных ступенях выколаживания в верхней части катен при минимальном участии биоты.

Маршрутная дозиметрия проводилась в Приморье с юга на север от «Кедровой Пади» до пос. Терней (табл. 3). Измерения велись на территории населенных пунктов. Для сравнения в таблице представлены средние показатели радиационных измерений, полученных на территориях исследованных заповедников (фоновые значения).

Как видно из таблицы, во всех населенных пунктах показатели радиации превышают принятые типичные значения фона (8–12 мкР/час) для открытых городских ландшафтов [2]. Возрастающие значения показателей идет с юга на север по мере увеличения гористости и приближения к выходам магматических горных пород Сихотэ-Алинского хребта. Максимальные дозы радиации были зафиксированы в пос.г.т. Пластуне и г. Дальнегорске, где градообразующими предприятиями являются горно-обогатительные комбинаты со своими транспортными структурами. По

Литература / Reference:

1. Булдаков Л.А. 1986. Человек и радиация // Наука и жизнь. № 9. С. 72–75.
Buldaikov L.A. 1986. Man and radiation, *Nauka i zhizn'*. # 9. Pp. 72–75.
2. Гаврилин Ю.И., Горбатенко С.А., Маргулис У.Я. 1993. Основы радиационной безопасности. М.: ИздАТ. 109 с.
Gavrilin Yu.I., Gorbatenko S.A., Margulis U.Ya. 1993. Fundamentals of radiation safety. М.: IzdAT. 109 p.
3. Глазовская М.А. 2007. Геохимия природных и техногенных ландшафтов: учебное пособие. М.: Геогр. ф-т МГУ. 350 с.
Glazovskaya M.A. 2007. Geochemistry of natural and technogenic landscapes: a tutorial, М.: Geogr.Fak. MGU. 350 p.
4. Дедю И.И. 1989. Экологический энциклопедический словарь. Кишинев: МСЭ. 406 с.
Dedyu I.I. 1989. Environmental Encyclopedic Dictionary. Kishinev: MSE. 406 p.
5. Замотаев И.В., Кудерина Т.М. 2006. Эколого-геохимический подход для решения задач ландшафтного планирования // Экологическое планирование и управление. № 1. С. 23–28.
Zamotayev I.V., Kuderina T.M. 2006. Ecological-geochemical approach for solving landscape planning tasks // *Ekologicheskoye planirovaniye i upravleniye*. # 1. Pp. 23–28.
6. Кайданова О.В., Кудерина Т.М., Замотаев И.В., Шилькрот Г.С., Суслова С.Б., Кудиков А.В. 2012. Радиоактивные элементы и тяжелые металлы в природных и техногенных ландшафтах Европейской части России // Геохимия ландшафтов и география почв (к 100-летию М.А. Глазовской). Докл. Всерос. науч. конф. М.: Геогр.ф-т МГУ. С. 149–151.
Kaidanova O.V., Kuderina T.M., Zamotayev I.V., Shilkrot G.S., Suslova S.B., Kudikov A.V. 2012. Radioactive elements and heavy metals in natural and technogenic landscapes of the European part of Russia // *Landscape Geochemistry and Soil Geography (the 100th anniversary of M.A. Glazovskaya)*. Proceedings of All-Russian scientific conference. М.: Geogr.Fak. MGU. Pp. 149-151.
7. Кузьменкова Н.В. 2010. Миграция и аккумуляция ^{137}Cs в ландшафтах северо-западной части Кольского полуострова // Атореф. дис. к.г.н. М.: МГУ. 26 с.
Kuzmenkova N.V. 2010. Migration and accumulation of ^{137}Cs in landscapes of north-western part of the Kola Peninsula // *Abstr. diss. Cand. geogr. Sciences*. Moscow: MGU. 26 p.
8. Ландшафтное планирование с элементами инженерной биологии. 2006. М.: Т-во науч. изданий КМК. 239 с.
Landscape planning with elements of engineering biology. 2006. М.: КМК. 239 p.
9. Мерзлякова И.А., Баденков Ю.П., Кудерина Т.М. 2003. Ландшафтные подходы в оценке зон экологического риска в Ферганской долине // Проблемы опустынивания в Центральной Азии и их региональное стратегическое решение. Докл. междунауч. семинара НАТО. Самарканд.
Merzlyakova I.A., Badenkov Yu.P., Kuderina T.M. 2003. Landscape approaches to assessing environmental risk areas in the Ferghana Valley // *Problems of desertification in Central Asia and their regional strategic solution*. Report of NATO international scientific seminar. Samarkand.
10. Перельман А.И., Касимов Н.С. 1999. Геохимия ландшафта: учебное пособие. М.: Астрейя-2000. 768 с.
Perelman A.I., Kasimov N.S. 1999. Geochemistry of the landscape: a tutorial. М.: Astreya- 2000. 768 p.
11. Тихонов М.Н. 2008. Радоновая радиация: источники, дозы и нерешенные вопросы // Экология промышленного производства. Вып.1. С. 35–51.
Tikhonov M.N. 2008. Radon radiation: sources, doses, and unsolved issues // *Ecology of industrial production*. Issue 1. Pp. 35–51.
12. <http://kavkaz.ge/2012/07/05/radiacionnaya-obstanovka-v-severo-kavkazskom-regione-rossii/>
13. Linnik, V., Korobova, E., Kuvylin A., van der Perk, M., Burrough, P. GIS modelling for training in decision making on safe agricultural production in contaminated areas (No-vozybkov case study)//5th European conference on Higher Education. Conference proceedings. From production Agriculture to Rural Development. Challenges for Higher education in the New Millenium. September 10-13, 2000. Seale-Hayne Faculty. University of Plymouth. United Kingdom. Ed. by Eirene Williams. P. 202.

EXPRESS-ESTIMATION OF THE RADIATION CONDITIONS OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC LANDSCAPES FOR ENVIRONMENTAL PLANNING

T.M. Kuderina¹, Ye.A. Grabenko²

*¹Institute of Geography, RAS, Senior researcher,
29, Staromonetny per., Moscow, 119017, Russia
tmkud@yandex.ru*

*²ShaposhnikovCaucasian State Biosphere Reserve, Senior Researcher,
187, Sovetskaya St., Maikop, Republic of Adygea, Russia 385000,
grabenko@inbox.ru*

The article presents data of field dosimetry carried out in regions with high natural and technologically-generated radioactivity. Measurements were carried out in the mountainous regions of the Caucasus and Primorye belonging to areas with high potential of radiation danger, as well as in the zone of influence of the Kursk nuclear power plant. The results of measurements help to identify areas with unfavorable radioactive condition. These data should be considered in environmental planning of the development of these regions.

Keywords: dosimetry, landscapes, environmental planning, natural and technologically modified radioactivity.