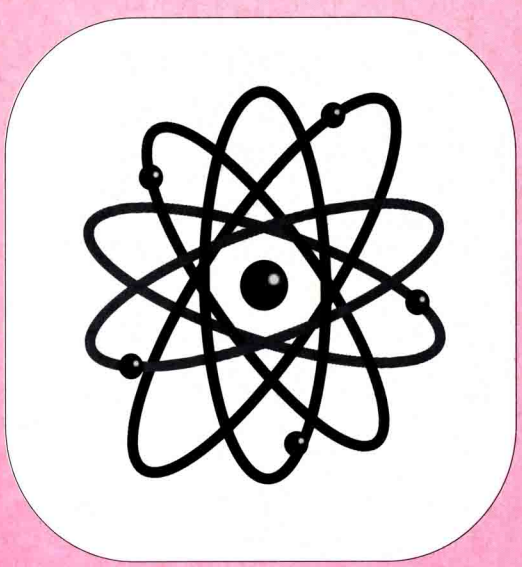
Международный Союз Радиоэкологов
Российская Экологическая Академия
Институт экологии растений и животных УрО РАН
ГУДП НИКИЭТ "Техноцентр "ЛТ"
Фонд развития Заречного Технополиса

ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭКОЛОГИИ И ПОГРАНИЧНЫХ ДИСЦИПЛИН

Выпуск 3

Под редакцией
А.В.Трапезникова и С.М.Вовка



г. Заречный

Международный Союз Радиоэкологов
Российская Экологическая Академия
Институт экологии растений и животных УрО РАН
ГУДП НИКИЭТ “Техноцентр «ЛТ»”
Фонд развития Заречного Технополиса

ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭКОЛОГИИ И ПОГРАНИЧНЫХ ДИСЦИПЛИН

Выпуск 3

Под редакцией
А.В.Трапезникова и С.М.Вовка

г.Заречный, 2000

В третий сборник вошли статьи следующих авторов:

А. Ааркрога, А.В. Аклеева, О.Г. Андреевой, М.А. Ахметова, Т.М. Бисли, Л.А. Бонд, Н.В. Васильева, С.М. Вовка, В.П.Гусевой, Ю.А. Егорова, А.А. Екидина, М.А.Изюмова, Дж.М. Келли, И.И.Колтик, Т.И. Коляды, В.Л. Кошелева, Е.Н.Логунцева, В.Н. Николкина, К.А. Орландини, Н.Н.Ошканова, В.Н.Позолотиной, Г.Г.Поликарпова, Л.Д.Птицкой, В.А.Синяева, В.П.Сметанникова,Б.В.Тестова, А.В.Трапезникова, В.Н. Трапезниковой, М.Я. Чеботиной, В.Л.Шведова, Д.З. Шибковой, Л.М. Щербаковой, П.И. Юшкова, А.В. Яблокова

ПРЕДИСЛОВИЕ

Многоуважаемый читатель!

Представляя на Ваш суд третий выпуск сборника «Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин», хотели бы подчеркнуть позицию редакторов по одному из острейших вопросов – отношению к развитию ядерной энергетики в мире и в России, в частности. Для решения этой важнейшей проблемы необходимо ее всестороннее рассмотрение, а тенденциозный подход чреват серьезнейшими катастрофами. С этой целью в данном сборнике, с одной стороны, представлены фундаментальные работы члена – корреспондента РАН А.В.Яблокова и академика Национальной Академии наук Украины Г.Г.Поликарпова, а с другой стороны, - статьи крупных специалистов в области охраны окружающей среды от воздействия АЭС – профессора, д.т.н. Ю.А.Егорова и к.т.н. И.И.Колтик.

Кроме того, в сборнике представлены мировоззренческие статьи о взаимодействии человека с природой, а также экспериментальные и полевые исследования в области радиоэкологии.

Надеемся, что наши авторы и читатели выберут сборник в качестве трибуны для обсуждения острых дискуссионных проблем радиоэкологии и взаимодействия человека с природой.

А.Трапезников.
С.Вовк.

Заречный, ноябрь 2000 года.

РАДИАЦИЯ И БИОСФЕРА

А.В.Яблоков

Центр экологической политики России,
Москва, 117808, ул. Вавилова 26;
факс (095) 952-30-07; эл.почта:anzuz@glasnet.ru

(По материалам доклада на Международном симпозиуме
«Жизнь в атомном и химическом мире». 26 ноября 1999 г., Москва)

Техногенная радиация стала одной из главных угроз существования человечества и биосферы. Ежедневно в биосферу попадает огромное количество техногенных радионуклидов, ранее в ней отсутствовавших. По всему миру весьма беззаботно распространяются технологии, связанные с ионизирующей радиацией (такие, например, как рентгенодиагностика).

Несмотря на казалось бы , сравнительно небольшие объемы штатных выбросов АЭС (от нескольких до сотен кюри в сутки) суммарно все АЭС мира за время их работы выбросят в атмосферу только радиоактивных газо-аэрозолей столько же, сколько было выброшено в ходе Чернобыльской катастрофы.

На каждые выработанные 1000 МВт «атомного» электричества образуются радионуклидов активностью порядка 2000 кюри. Если принять, что, в среднем, одна тонна отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) при выгрузке содержит около 100 млн. кюри (через 30 лет – около 660 тыс. кюри), и что в мире уже накоплено порядка 200 тыс. тонн ОЯТ, общая радиоактивность накопленного ОЯТ должна превышать 100 млрд. кюри. Оказывается, что ежегодный прирост радиоактивности на Земле за счет работы АЭС составляет десятки миллионов кюри.

Этих радионуклидов раньше - до расщепления урана человеком, - не было в биосфере. И если все другие антропогенные загрязнители нейтрализуются в экосистемах, то этого не происходит с искусственной радиоактивностью, вызванной так называемыми «вечными» радионуклидами : технецием (^{99}Tc , период полураспада 213 тыс. лет, период практического распада – более 2 млн. лет), америцием (^{241}Am, 432 года и 4,5 млн. лет), радиоуглеродом (^{14}C , 5730 лет и 60 тыс. лет), плутонием (^{239}Pu, ^{240}Pu, соответственно, 24 065 , 6537 лет и 240, 70 тыс. лет), радиойодом (^{129}J ,17 млн. лет и 190 млн. лет).

Эти «вечные» техногенные радионуклиды будут воздействовать на бесчисленные поколения людей и поэтому формируемая ими коллективная доза составит огромную величину.

1 Опасности радиационного загрязнения биосферы

Мы очень далеки от понимания истинного масштаба возможных последствий появления в биосфере не только перечисленных выше «вечных», но и так называемых «глобальных» радионуклидов (Василенко и др., 1997). К «глобальным» радионуклидам относятся те антропогенные радионуклиды, которые, независимо от места выброса, распространяются по всей биосфере : тритий (^{3}H , с периодом полураспада 12,3 года), криптон (^{85}Kr, 10,6 лет), цезий (^{137}Cs, 30 лет), а также радиоуглерод, (^{14}C , 5730 лет) одновременно относящийся

и к «вечным» радионуклидам. От глобальных радионуклидов нельзя спрятаться даже на уединенном тихоокеанском атолле.

Современный уровень знаний не позволяет решить проблему обеспечения радиационной безопасности населения Земли от глобальных и вечных техногенных радионуклидов, неизбежно и постоянно генерируемых атомной индустрией. Данные такого рода накапливаются постепенно, обычно с большим временным лагом. На рис.1 приведен один из примеров такого рода – связь глобального выпадения стронция-90 после ядерных испытаний пяти ядерных держав в атмосфере с неонатальной смертностью в США.

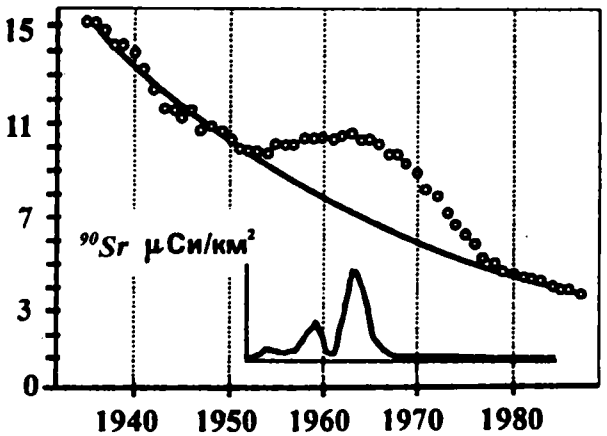


Рис.1 Смертность (число случаев на 1000) в первый день после родов и уровень выпадения на почву стронция-90 в США (Whyte,1992)

Сейчас пока трудно сказать, что опаснее среди этих последствий – повышение уровня радиоактивности, или появление чуждых биосфере форм химических элементов.

Плутония до начала атомной эры было во всей земной коре не более 50 кг. Сейчас его в биосфере в тысячи раз больше. В миллионы раз больше в атмосфере криптона-85. Количество радиоуглерода увеличилось в биосфере на 25 %. Техногенного цезия в экосистемах сейчас больше, чем природного. Концентрации техногенного трития в атмосфере превышали фоновый уровень в тысячи раз. Технеция (как и ряда других радионуклидов) вообще не было в биосфере.

Научно безответственно считать, что такая интервенция в биосферу порой совершенно чужеродных, не привычных для нее элементов, не является опасной.

В процессе эволюции живая природа приспособилась к определенному естественному уровню облучения, и, несомненно, этот уровень является важным для поддержания оптимального уровня мутационного процесса, как условия эволюции (Тимофеев-Ресовский и др., 1977) .

Известно, что естественный уровень радиации может сильно различаться в разных местах Земли. И мы знаем теперь, что возможна адаптация к повышенному уровню радиации. Основой такой адаптации является индивидуальная радиочувствительность особей к воздействию радиации.

Среди изученных млекопитающих (людей, собак) существуют до 14 - 20 процентов мало чувствительных к действию радиации особей, 10 – 20 высоко чувствительных, и 7-10 % - сверхчувствительных (Kovalev, Smirnova, 1996). Кроме этой чисто индивидуальной (внутри одной возрастно-половой группы) для человека известна половая и возрастная изменчивость радиочувствительности (НРБ расчитаны на 20-летнего здорового мужчину – европеоида). Разница в индивидуальной радиочувствительности может быть многократной (Рис.2). Поэтому для сверхчувствительных к радиации людей (а это, примерно, каждый десятый) даже сверхмалые дозы радиации, сегодня считающиеся совершенно безвредными, весьма опасны.

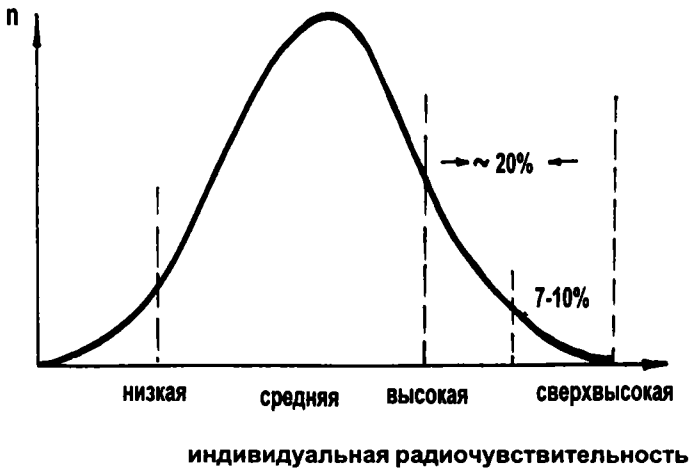


Рис. 2 Схема распределения особей по величине индивидуальной радиочувствительности в популяциях млекопитающих

Известно (Ильенко и др., 1974), что для адаптации к повышенному уровню радиации на популяционном уровне для мелких грызунов необходимо 20 – 25 поколений. В тех местах биосферы где естественный фон радиации значительно увеличен (например, некоторые местности в Бразилии, Индии, Карпатах), несомненно, уже прошел отбор на радиорезистентность среди аборигенных форм.

Поэтому утверждение, что низкие дозы радиации безвредны на том основании, что популяции благополучно существуют в природе при повышенных уровнях облучения, не имеет достаточного научного обоснования.

Несомненно, какие -то резервы выдержать действие повышенного радиационного фона есть и на организменном (особь в целом), органном, и клеточном уровнях. Однако, с эволюционной точки зрения, нас должно больше беспокоить не индивидуальное выживание физика-экспериментатора или врача-рентгенолога, а то, насколько увеличенный по сравнению с естественным привычным фоном, уровень облучения скажется на последующих поколениях. И тут открывается море неприятностей.

Во-первых, существует масса мелких индуцированных радиацией

мутаций (так называемые, «малые» мутации), в том числе связанные с микроделециями, которые не учитываются до сих пор при анализе радиационно-генетических последствий. *«...**Значительная доля генетических изменений, связанных с воздействием ионизирующих излучений, остается в настоящее время за пределами анализа»*** (Шевченко, 1999, с. 41).

Во-вторых, с каждым годом все более четко вырисовывается еще одна генетическая опасность, непредвиденная еще несколько лет назад – возникновение **генетической нестабильности** и в геноме, и в генофонде. Если присутствие повышенного радиационного фона ведет, в конце концов, – через десятки поколений - к некоторой адаптации, то разовый радиационный удар, полученный популяцией (будет ли это взрыв Чернобыльского типа, или Тоцкий взрыв) - каким то неизвестным нам пока образом «взбалтывает» генетическую структуру популяции. Последствия такого удара прослеживаются в популяциях мышевидных грызунов, - как показывают работы групп Э.А. Гилевой и А.Г. Васильева на Тоцком полигоне, - на протяжении 80 – 90 поколений (Васильев, 1997).

Феномен генетической нестабильности становится, по-видимому, одним из основных направлений современных исследований последствий действия малых доз радиации. Надо констатировать, что пока наши знания здесь зачаточны.

50 лет назад думали, что самое страшное следствие облучения - лучевая болезнь, возникающая при достаточно больших дозах. Примитивизм этого подхода ярко иллюстрирует факт, что основной единицей дозиметрии на протяжении многих десятилетий был «рентген» , исходно определяемый... по реакции покраснения руки при облучении!

20 - 30 лет назад обнаружили, что со сравнительно малыми дозами радиации связаны различные раковые заболевания (ступенчато возникающие через 5, 10, 15 , 20 лет после облучения).

Сегодня мы знаем, что облучение у млекопитающих ведет также к (обзор см. Яблоков, 1997а):

- нарушениям эмбрионального развития;
- спонтанным абортам и мертворождениям;
- преждевременным родам;
- увеличению младенческой смертности;
- нарушениям умственного развития;
- постоянной \ временной стерильности;
- иммунодепрессии и иммунодефициту;
- активизации микробиологических, вирусных и паразитарных заболеваний;
- изменениям эндокринного статуса;
- сокращению продолжительности жизни;
- преждевременному старению.

Кроме того, есть немало фактов, которые не укладываются ни в какие рабочие гипотезы, ждут своего обобщения и объяснения. Например, данные по индуцированным радиацией изменениям растений в Чернобыльской зоне (Гродзинский, 1999) . Другой необычный факт стал известен из документальной литературы: *«... Врач вспоминает: «В одной деревне мы обнаружили двенадцать*

лактирующих старушек, т. е. у семидесятилетних женщин молоко в грудях, как у рожениц. Специалисты могут рассуждать о родоновом эффекте малых доз, а обычное человеческое воображение приходит в тупик, наступает затмение» (Алексиевич, 1996). С позиции традиционной методологии нужно найти сотни таких лактирующих старушек, чтобы сделать какие то статистически значимые выводы. Давно пора разработать новые статистические методы, рассчитанные на установление неслучайности встреч подобных редких феноменов. Такая работа была начата лет 15 назад Л.А. Животовским в Институте общей генетики им. Н.И.Вавилова РАН, но не получила, к сожалению, должного развития.

Накапливается все больше данных о **синергическом взаимодействии малых доз радиации** с другими физико-химическими загрязнениями, прежде всего с пестицидами и соединениями тяжелых металлов и электромагнитным загрязнением. Здесь – непаханое поле для исследований.

В целом, последствия радиационного загрязнения биосферы в результате распространения ядерных технологий оказываются гораздо более трагичными для Человечества и живой природы, чем это предполагалось ранее.

С правовой точки зрения негативное влияние радиации на здоровье населения является нарушением одного из фундаментальных прав человека - права на здоровую окружающую среду.

Мало внимания в дискуссиях по влиянию радиации на биосферу в контексте проблемы «Человек и Биосфера» привлекает внимание философское осмысление проблемы. Мы не знаем, и, наверное, никогда не сможем узнать, - какова радиочувствительность всех тех миллионов видов и сотен миллионов популяций живых существ, которые составляют живую компоненту биосферы. Кое как защищая человека от радиации с помошью норм радиационной безопасности , мы открыто предполагаем, что человек – самый радиоуязвимый вид в биосфере. Проявляя безоглядный антропоцентризм, мы не задумываемся о том, что какие то виды (или отдельные их популяции) могут оказаться сверх-радиочувствительными и поставлены перед угрозой гибели в результате локального или глобального антропогенного повышения радиационного фона.

2 Опасность крупных радиационных катастроф

Другой аспект современных атомно-радиационных технологий – опасность крупных и сверх-крупных катастроф. Чернобыльская катастрофа по масштабам - самая крупная техногенная катастрофа в истории.

Ядерные технологии таковы, что нет гарантии от повторения таких катастроф. Эд.Теллер, патриарх атомных дел, считает, например, что реакторы должны стать качественно другими, а управление ими должно исключить «человеческий фактор», поскольку *«люди настолько изобретательны в своих ошибках, что предусмотреть все эти ошибки просто невозможно»* («ПОИСК» , 1999 , с.22). Об этом же говорят многие другие крупные атомщики (обзор, см. Яблоков, 1997а).

Современная ситуация характерна тем, что началось масовое постарение АЭС (возникла даже новая наука – «геронтология АЭС»), чреватое увеличением числа радиационных инцидентов и аварий (табл.1)

Таблица 1

Число радиационных аварий
(The World Quide 1999\2000, p.61)

Годы	число аварий
1952 – 1961	5
1962 – 1971	2
1972 – 1981	14
1982 – 1991	32

Не надо быть пророком, чтобы прогнозировать дальнейшее увеличение числа ядерно-радиационных аварий и катастроф. И тогда неизбежно возникает вопрос : где тот предел, после которого радиационно-обеспокоенное Человечество скажет «нет» развитию атомных технологий.

2. 1 О террористической опасности АЭС

Развитие атомных технологий вызвало к жизни одну из серьезных проблем обеспечения безопасности жизнедеятельности - недооцениваемую проблему атомного терроризма.

Первый шаг на этом опасном пути сделала не мафия, а государства - США и СССР, - разработавшие в 60-е годы миниатюрное ядерное оружие («чемоданный» и «ранцевый» варианты атомной бомбы), для террористической деятельности на территории противника (Яблоков, 1997б) .

Сегодня АЭС превратились в притягательные мишени для террористов: с портативной ракетной установкой несколько человек теперь имеют «неопровержимую» (по выражению космонавта В.В. Аксенова) возможность угрожать жизни сотен тысяч человек. Утверждения, что современные АЭС покрыты настолько крепкими колпаками, что им не страшно даже падение самолета, не выдерживает критики: не падающий самолет представляет тут серьезную угрозу.

АЭС уже давно превратились в высокоэффективное *«оружие для врага»* (Ramberg, 1984). С развитием высокоточного оружия эта угроза многократно возросла. Сегодня не надо быть ядерной державой, и не надо иметь собственного ядерного оружия, чтобы с помощью подрыва АЭС на территории противника вызвать ядерный взрыв по силе в сотни раз превосходящий взрывы атомных бомб над Хиросимой и Нагасаки.

Сегодня ядерный терроризм ставит под угрозу завоевания мировой цивилизации и таит колоссальную угрозу радиационного загрязнения биосферы. Атомные технологии подвели Человечество к опасной черте.

Отвечая на подобную критику, атомщики говорят, что изобретателя и производителя спичек нельзя винить в пожарах (Яблоков,1997-98; 1998б). Но есть принципиальная разница между спичкой и атомной технологией в масштабах последствий. Спичками можно поджечь лес или дом, но невозможно угрожать существованию цивилизации. С помощью атомных «спичек» сделать это вполне реально.

3 Нравственные аспекты ядерного мира

Проблема «Радиация и Биосфера» имеет и нравственный компонент. Развитие ядерной компоненты современного общества изменило в общественном сознании такие нравственные категории, как понятия добра, зла, справедливости.

В результате искажения нравственности приемлемым , например, для подписавших его государств оказался Венский договор о возмещении ущерба от аварий на атомных электростанциях. По этому договору установлен предел возмещения возможного ядерного ущерба в 55 млн. долларов. Как показали катастрофы Три – Майл - Айлэнд и Чернобыля это в сотни (!) раз меньше возможного реального ущерба от аварии АЭС. Естественно, что этот договор направлен, прежде всего, на поддержку ядерной индустрии, перекладывая затраты на возмещение возможного ущерба с их виновников - владельцев ядерных установок - на население, не имеющее к ядерной индустрии никакого отношения.

Под влиянием идеологии атомщиков (их можно назвать «атомократами»), ставящих задачи развития и применения атомных технологий выше всего остального, и поэтому явно утративших социо - гуманитарную компоненту мышления, за последние 30-40 лет произошла настоящая дегуманизация нашего мышления .

В докладе академика В.Н. Михайлова,- тогда Министра России по атомной энергии, - на Всероссийской научной конференции «Философия ядерной безопасности» 17 декабря 1996 г. в Москве, было сказано: что *«одного Чернобыля» недостаточно для крушения цивилизации.* А сколько - достаточно? Два? Три?

Для политиков и военных нравственно приемлемым стало допущение о возможности попутного уничтожения больших групп людей, не имеющих никакого отношения к военному конфликту. Для них стало приемлемым рассчитывать на сиюминутную победу в ядерной войне даже ценой риска последующей гибели и вырождения населения своей собственной страны (Яблоков 1997в).

Показательно, что Минатом не смог обеспечить здоровье своих собственных работников, связанных с переработкой радиоактивных материалов, несмотря на значительно более совершенную систему медицинского обслуживания, чем в целом по России. Ниже приводятся некоторые данные, относящиеся к 1 млн. 670 тыс. человек «персонала» предприятий ядерно-топливного цикла и проживающего в районах их расположения «населения Минатома» (Программа, 1997; Материалы, 1999):

- частота болезней костно-мышечной системы в 1997 г. у работающих в контакте с ионизирующим излучением была вдвое выше, чем в среднем по России;
- в 1997 г. заболеваний крови у профессионалов Минатома был более

чем в 3 раза выше, чем в среднем для России;

- с 1992 г. по 1997 г. онкозаболеваемость «населения Минатома» выросла в три раза больше, чем в среднем по России. Резко увеличилось число больных, впервые выявленных в запущенной стадии;

- первичная заболеваемость психическими расстройствами в атомной отрасли в 1997 г. превысила средний уровень по стране;

- распространенность врожденных аномалий среди детей, проживающих в ЗАТО в 1996г., вдвое выше, чем в среднем по России;

-для 80 % персонала особо опасных производств Минатома характерен вторичный иммунодефицит;

- в структуре заболеваемости профессионалов первое место занимают болезни, вызванные радиоактивными веществами (45,1 %).

К своим сотрудникам Минатом относится бесчеловечно! Эти данные показывают, какое будущее ожидает всех остальных людей, если не остановить опасного распространения ядерных технологий.

После этих страшных фактов как -то тускнеет цитата из научной разработки одного из теоретиков Минатома по определению допустимых дозовых нагрузок для населения: «*Такие эффекты , как кратковременное угнетение кроветворения, легкий ожог кожи и временное снижение потенции мужчины не слишком серьезны, поскольку сравнительно быстро проходят без последствий. Помутнение хрусталиков глаз не влияет на остроту зрения*» (Кейрим-Маркус, 1995) .

Атомщики даже не замечают, каким технократическим и, по существу, человеконенавистническим, стало их мышление, влияющее неизбежно и на все общественное сознание. Надо срочно искать пути возвращения их к фундаментальным общечеловеческим ценностям. Сделать это непросто. Гуманизация атомного мышления невозможна без организации действенного диалога между атомщиками и остальным обществом. Пока такой диалог напоминает разговор слепого с глухим.

4 Два пути выживания в атомном мире

Есть два пути выживания в том ядерно-радиационном мире, в котором мы оказались накануне XXI века.

Первый путь - поиск различных радиопротекторов, и всякого рода способов лечения последствий радиационного поражения.

Второй - ограничение распространения неприемлемо опасных атомных технологий, поставивших человечество перед угрозой самоуничтожения.

И на первом, и на втором пути есть немало успехов. О радиопротекторах и успехах лечения радиационного поражения написаны многие тысячи статей , выпущены сотни монографий.В этом направлении трудятся тысячи исследователей и практических врачей. На втором пути успехи тоже есть, может быть не такие большие, как того хотелось бы, но обнадеживающие.

1.Постоянное устрожение норм радиационной безопасности (НРБ). С начала регулирования радиационной безопасности НРБ снизились во много десятков раз. Последнее такое устрожение произошло на международном

уровне в 1990 г. , и в 1996 г.- в России (хотя до сих пор наша атомная индустрия не перешла полностью на НРБ-96).

Этот процесс устрожения НРБ будет продолжаться и в будущем. Не исключено, что через 20-25 лет НРБ станут такими, что никакая из существующих ядерно-радиационных технологий не сможет легально существовать.

2. Прямой запрет и отказ от некоторых ядерных технологий. В этом направлении первым выдающимся событием стало решение Международного суда в Гааге в 1996 г., признавшее применение ядерного оружия незаконным. Вторым таким событием стало решение шотландского суда в октябре 1999 г. об освобождении в зале суда трех активисток антиядерного движения, напавших на британскую базу атомных подводных лодок (и попортивших там оборудования на 80 тыс. фунтов стерлингов). Суд решил, что они *«меньшим преступлением предотвращали более крупное преступление»* - атомную войну.

Другими примерами успешных действий в направлении запрета опасных атомно-радиационных технологий являются:

- запрет на проведение мирных ядерных взрывов (ДВЗЯИ, 1997);
- запрет на отправку радиоактивных материалов на захоронение в Космос (закон «Об охране окружающей природной среды», 1991);.
- запрет на рентгенодиагностику беременным (1995 г., Европейская Комиссия).

Идя и первым, и вторым путями мы должны сделать созданный нами атомно-радиационный мир приемлемо безопасным. Пока мы очень далеки от достижения этой цели.

Заключение

Даже части средств, потраченных в XX веке на развитие ядерных технологий (4 триллиона долларов в США (Schwartz, 1996), и, по-видимому, порядка 10 триллионов долларов во всем мире) хватило бы, что бы решить большинство современных глобальных проблем, слетать на Марс, освоить глубины Мирового океана и так далее. Говорят, президент США Б. Клинтон назвал в 1998 г. знаменитый «атомный проект» - тот самый, с которого и пошло по миру развитие опасных ядерных технологий *«самой большой ошибкой XX века»*.

Будем ли мы усугублять эту ошибку, или – с помощью концепции приемлемого риска, постепенно шаг за щагом, начнем делать наш мир менее ядерно-радиационно опасным? Пример Германии, Швеции, Австраии, Италии и других стран, отказывающихся от развития атомной энергетики как неприемлемо опасной, говорит о том, что разумный путь действий возможен.

Концепция приемлемого риска должна лечь в основу научного обоснования перехода к постиндустриальной цивилизации. Приемлемые с точки зрения риска для общества, природы и человека технологии могут и должны развиваться. Другие - не должны развиваться до тех пор, пока не станут приемлемо безопасными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Алексиевич С.1996. Чернобыльская молитва. Лит. Газ., 24 апреля , с.6.

2 Василенко И.Я., Лягинская А.М., Осипов В.А. 1997. Третий Съезд по радиационным исследованиям . Москва, 14 – 17 октября 1997 г. Тез. Докл., Пущино, том 1, с. 430 – 431.

3 Васильев А.Г. (Ред.). 1997. Итоги эколого-генетического анализа отдаленных последствий Тоцкого взрыва. В сб.: «Эколого-генетический анализ отдаленных последствий Тоцкого ядерного взрыва в Оренбургской области в 1954 г. (факты, модели, гипотезы)». Екатеринбург, Изд-во «Екатеринбург», 192 с.

4 Гродзинский Д.М. 1999. Радиация и растительный мир. Тез. Докл. Симп. «Жизнь в атомном и химическом мире», 23 – 26 ноября 1999 г., Москва, с. 24 – 28.

5 Ильенко А.И., Исаев С.И., Рябцев И.А. 1974. Радиочувствительность некоторых видов мелких млекопитающих и возможность адаптации популяций грызунов к искусственному загрязнению биогеоценоза стронцием-90. Радиобиология, том 14, с. 5– 18.

6 Кейрим-Маркус. И.Б. 1995. Дозиметрические критерии для населения территорий с радиоактивным загрязнением. Бюлл. ЦОИПАЭ, № 7-8, с. 43-47.

7 Материалы .1999. Материалы Научного совета Минатома ("*Состояние здоровья работников отрасли*"), "Атомпресса", № 3 (394), январь 1999, с. 3-4 .

8 «ПОИСК», 29 октября 1999 г., с.22

9 Программа, 1997. Федеральная целевая программа "Медико-санитарное обеспечение современного этапа развития ядерно-энергетического комплекса и других особо опасных производств в условиях ракетного, ядерного и химического разоружения , а также конверсии и разработки новых технологий в 1997-1998 годах" (Пост. Правит. РФ №191 от 22.02.97)

10 Тимофеев-Ресовский Н.В., Воронцов Н.Н., Яблоков А.В. 1977. Краткий очерк теории эволюции. М., «Наука», 302 с.

11Шевченко В.А. 1999. «Действие радиации и генетический груз в популяциях человека». В сб. «Жизнь в атомном и химическом мире», М., с. 41

12 Яблоков А.В. 1997а. Атомная мифология. Заметки эколога об атомной индустрии. М., Изд-во «Наука», 272 с.

13 Яблоков А.В. 1997б. А что у вас, ребята, в ранцах? Новая газета, № 51, 22 – 28 декабря, с.2

14 Яблоков А.В.1997в. Ядерное оружие себя исчерпало. Независимое военное обозрение, №31, с.3.

15 Яблоков А.В. 1997-98. Трудности достижения ядерной безопасности. Эколог. Бюлл. "Балтийский регион - наша общая среда обитания"(г. Сосновый Бор), №6, с. 6 - 12.

16 Яблоков А.В.1998а. Некоторые проблемы экологии и радиационной безопасности. Медицинская радиология и радиационная безопасность., том 43, №1, с.24 - 29.

17 Яблоков А.В. 1998б. Этот опасный мирный атом. Новый Мир, №2, с. 234- 237.

18 Kimbel B.F. 1998. Prenatal irradiation: a major concern for the developing brain. Int. J. Radiat. Biol., vol.73, No.4, 423 – 434.

19 Kovalev E.E., Smirnova O.A. 1996. Estimation of radiation risk based on the concept of individual variability of radiosensetivity. AFRRI Contact Report 96 – 1. Betesda, V+ 202 p.

20 Rumberg B. 1984. Nuclear Power Plants as Weapons for the Enemy: an Unrecognized Military Peril. б 2nd Ed., Univ. of California Press, Berkeley, XXXV + 193 p.

21 Whyte R.K. 1992. First Day neonathal mortality since 1935: re-examination of the cross hypothesis. Brit. Med. J., vol. 304, p. 343 - 346.

22 The World Quide 1999\2000. An alternative reference to the countries of our planet. London, 234 p.

ДЕЙСТВИЕ ЯДЕРНЫХ И НЕЯДЕРНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ НА МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Г. Г. Поликарпов
Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского (ИнБЮМ)

Национальной Академии наук Украины,
Севастополь 335011, пр. Нахимова 2, Украина

Введение

Радиоэкологические исследования на Черном море, начатые в 1956 г. на Севастопольской биологической станции им. А. О. Ковалевского, реорганизованной позднее в Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского Национальной Академии Наук Украины, включают в себя два основных аспекта:

- биогеохимическую миграцию радионуклидов и других важнейших загрязнителей (Поликарпов, 1960; Поликарпов, Егоров, 1986; Polikarpov, Kulebakina, Timoshchuk, Stokozov, 1991);
- биологическое действие ионизирующих излучений и химических загрязнителей (Поликарпов, 1960; Polikarpov, 1998a,b).

Уровни и перенос радионуклидов в Черном море, главным образом, в его Северо-Западной части, изучаются в ИнБЮМ (в рамках IAEA TC RER/2/003, EC contracts) и в других институтах (Polikarpov, Livingston, Kulebakina et al., 1992; Polikarpov, Zaitsev, Zats, Radchenko, 1994; Buesseler, Livingston, 1996; Egorov, Povinec, Polikarpov et al., 1998; Egorov, 1998).

Принципиальный интерес представляет собой попытка сравнения экологического действия ионизирующих излучений и химического загрязнения в морской среде на живую природу Черного моря в единых эквивалентных дозах.

1 Материал и методы

В этой статье синтезированы вместе следующие виды исследований:

- имеющиеся в ИнБЮМ, Севастополь-Одесса, и в других биологических учреждениях наблюдения за состоянием природных экосистем в течение длительного времени - десятков лет (за изменениями биологических компонентов в экосистемах и антропогенных стрессов в окружающей среде) в Черном море (Polikarpov, Zaitsev, Zats, Radchenko, 1994; Zaitsev, Mamaev, 1997);
- опубликованные данные исследований, полученные с помощью водных микрокосмов, контролируемых экосистем, в Национальном Институте Радиологических Наук, Япония (на основе количественных измерений динамики экосистем в зависимости от дозы повреждающих факторов) (Fuma, Miyamoto, Takeda et al., 1998a,b) и
- радиохемоэкологическая концептуальная модель действия повреждающих факторов по всем возможном диапазоне их дозовых нагрузок (Polikarpov, 1998b).

В представленной работе оценены мощности доз ионизирующих излучений и дозы химических загрязнителей в среде Черного моря для водных растений и животных на основе существующих данных в ИнБЮМ и других работ (посвященных ядерным и неядерным источникам в окружающей среде

этого моря) (Поликарпов, Егоров, 1986; Polikarpov, Kulebakina, Timoshchuk, Stokozov, 1991; Polikarpov, Livingston, Kulebakina et al., 1992; Buesseler, Livingston, 1996; Egorov, Povinec, Polikarpov et al., 1998; Egorov, 1998; Florou, Kritidis, Polikarpov etal., 1997; Pertsov, 1978).

В Международной Лаборатории Морской Радиоактивности МАГАТЭ в Монако (1975-79) автор предложил (Polikarpov, 1977) и затем в Севастополе, ИнБЮМ, развил (Polikarpov, 1998a) концептуальную модель ответов организмов, популяций и экосистем на все возможные мощности доз ионизирующей радиации при хроническом облучении в среде (распределяемые по следующим зонам проявления радиационных эффектов: зоне радиационного благополучия, зоне физиологической маскировки, зоне экологической маскировки и зоне поражения экосистем). Недавно, в 1998 г., на Международном Симпозиуме "Сравнительная оценка влияния на жизнедеятельность токсикантов в окружающей среде, создаваемых передовыми технологиями" в Японии, Национальный Институт Радиологических Наук, эта модель была расширена и трансформирована автором в радиохемоэкологическую модель, которая охватывает не только влияние ионизирующих излучений, но также и действие химических загрязнителей (Polikarpov, 1998b).

2 Результаты и обсуждение

Рис. 1 представляет общую радиохемоэкологическую концептуальную модель зон экологического воздействия хроническим ионизирующим облучением (Polikarpov, 1998a), а Рис. 2 особо выделяет пагубные экологические последствия для экосистем в Черном море, используя следующие экологические критерии:

- Уменьшение численности или общей массы (популяций);
- Уменьшение числа видов (сообществ);
- Деградация сообществ (экосистем).

Очевидно, дозовые нагрузки ионизирующих излучений в среде для черноморских организмов приходятся на «Зону Радиационного Благополучия», однако химические загрязнения, включая, прежде всего, эвтрофирующие вещества и др., вызывают прямо или косвенно тяжелые экологические эффекты, которые сходны по проявлению с действием высоких и очень высоких мощностей доз ионизирующей радиации, имеющихся в наличии лишь в весьма немногих ядерных зонах, таких, как предприятие "Маяк", Челябинская область. Химические загрязнения в лиманах, устьях и в шельфовых районах Черного моря производят тяжелые экологические воздействия, типичные для "Зоны Поражения Экосистем" (падение численности, уменьшение числа видов, обеднение и деградация биоценозов) под действием химических хронически-действующих доз, которые, очевидно, эквивалентны мощностям доз ионизирующей радиации порядка 20 и даже более 1000 Гр/год.

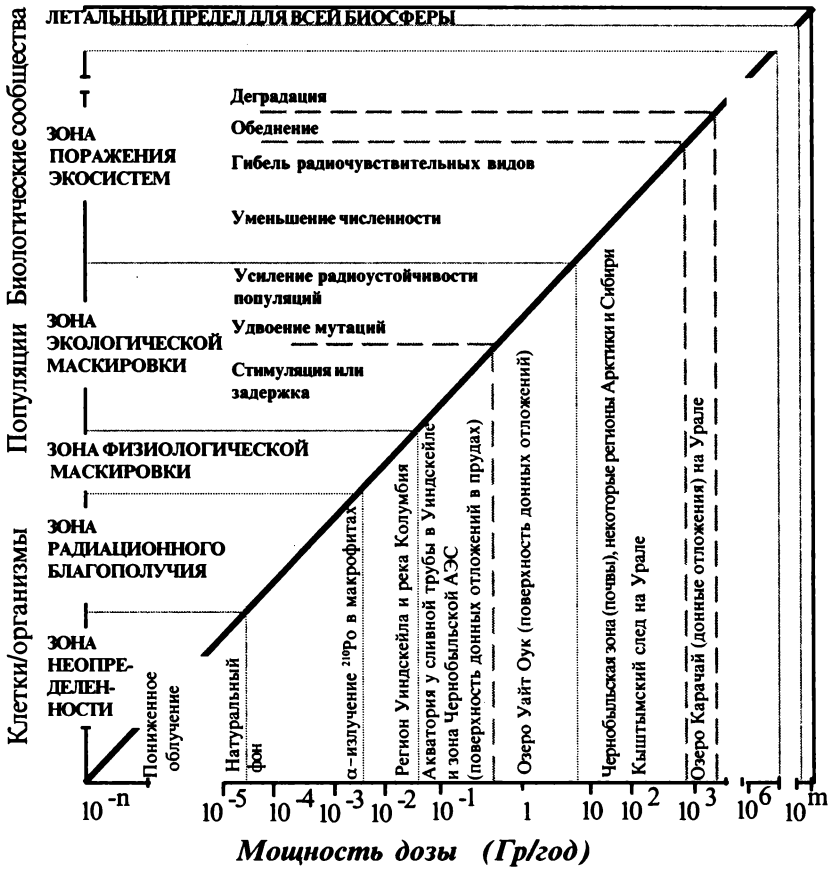


Рис. 1 Зоны мощностей доз ионизирующих излучений и их действие в биосфере

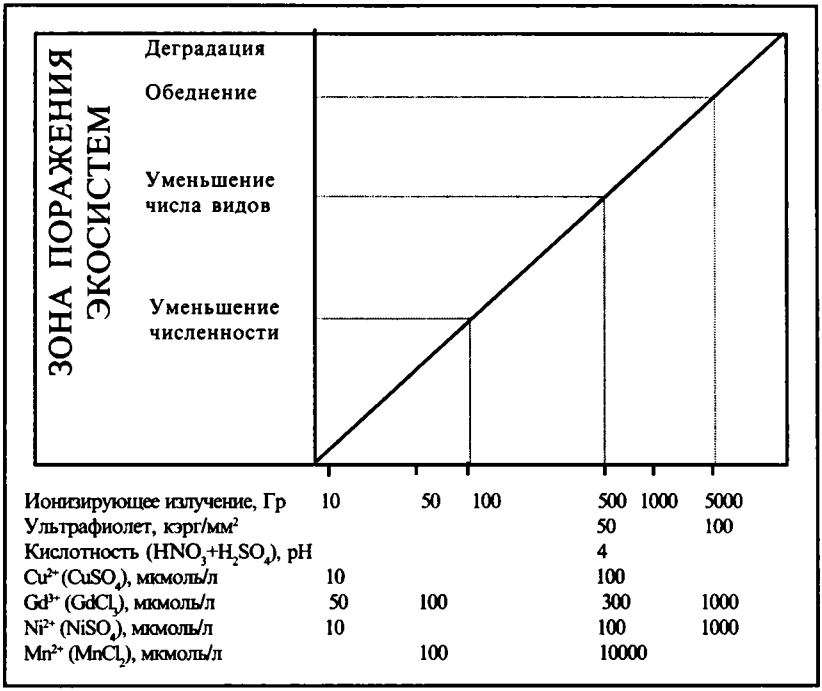


Рис. 2 Радиохемоэкологическая модель [5], совмещенная с данными по экологическому действию токсикантов в водном микрокосме [12]

Рис. 2 демонстрирует хорошее согласие между данными, полученными в микрокосме по действию ядерных и неядерных воздействий (Fuma, Miyamoto, Takeda et al., 1998b), и радиохемоэкологической концептуальной моделью (Polikarpov, 1998b).

Имеющиеся измерения металлов (напр., Си) в донных отложениях (1.75 до 6.17 мг/кг) и в мидиях (от 3.62 до 6.89 мг/кг) в Керченском проливе [Третьякова, Адеева, Вороненке, 1991) показывают, что, принимая во внимание довольно значительные коэффициенты накопления Си в гидробионтах, содержание этого металла в окружающей среде (от 28 до 97 мкмолей/кг) и в теле мидий (от 57 до 108 мкмолей/кг), вероятно, на несколько порядков величин ниже в Черном море, чем уровни Си, которые вызывают сильное экологическое воздействие на микрокосм (Fuma, Miyamoto, Takeda et al., 1998b).

Рис. 3 представляет собой карту-схему источников загрязнения Черного моря (Polikarpov, Zaitsev, Zats, Radchenko, 1994).

Распределение загрязненных до разного уровня черноморских вод вдоль побережья Украины, России и Грузии отражено на Рис. 4 (Mandych, Shaporenko, 1992).

В статье приводятся обобщенные данные длительных наблюдений за состоянием доминирующих и доминировавших видов черноморских растений и животных, включая исчезающих и исчезнувших теперь с жизненной сцены (Поликарпов, Зайцев, 1969; Зайцев, Поликарпов, 1987; Zaitsev, Mamaev, 1997).

Автор предлагает в целях сопоставимости выражать эквивалентные оценки реально существующих хронических воздействий неядерных загрязнителей на экосистемы, в том числе экосистемы Черного моря, в единицах эквивалентной мощности дозы ионизирующих излучений: Гр-экв./год (Gy-eq./y).

Соответствующие данные о деградации черноморских экосистем, сообществ и популяций, а также отношение оцененных эквивалентных мощностей доз неядерных загрязнителей, вызывающих летальные последствия при хроническом воздействии, к существующим мощностям доз ионизирующей радиации в экосистемах Черного моря, представлены в таблице.

В соответствии с материалами МАГАТЭ (IAEA, 1992) и сводкой (Woodhead, 1993), хроническая летальная доза составляет величины, которые от 2 до 10 раз выше, чем острая летальная доза. В настоящем докладе принята ее средняя величина, равная 6.

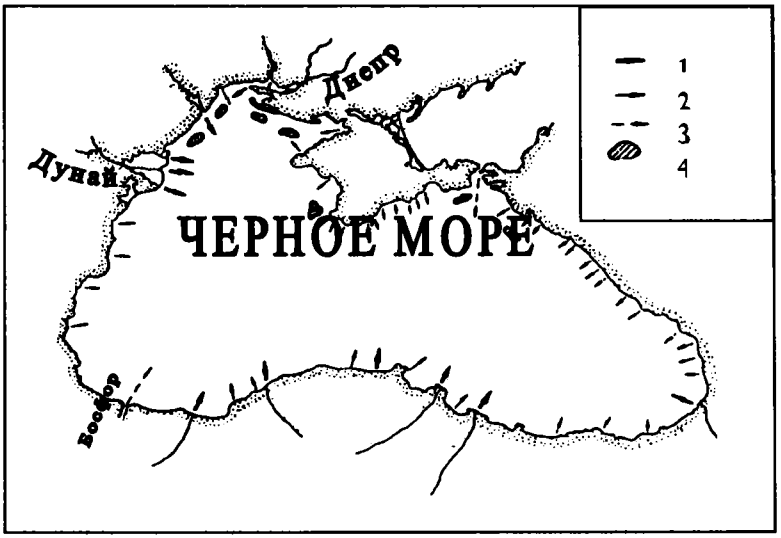


Рис. 3. Схема расположения крупномасштабных источников загрязнения Черного моря [7]:
1 – выход сточных вод с речным стоком;
2 – прямые сбросы сточных вод через сточные выходы;
3 – выход загрязненных вод из смежных морей;
4 – дампинг грунтов.

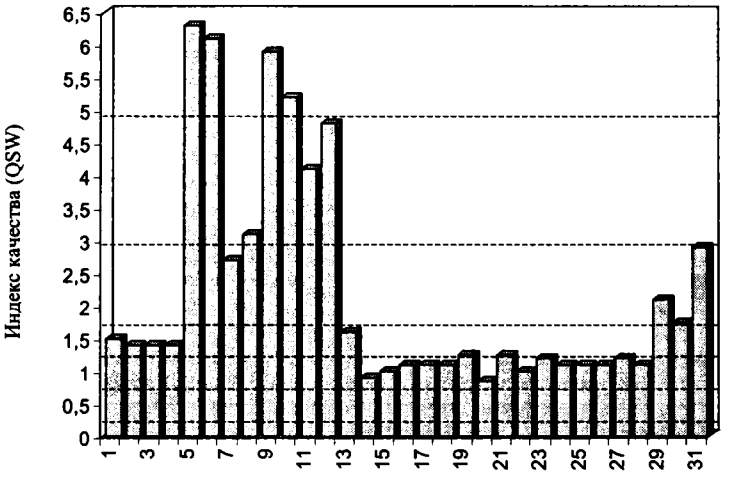


Рис. 4 Индекс качества (QSW) прибрежных вод Черного моря в 1988 г. [18]:

1 Дельта Дуная
2 Прибрежные воды Дуная
3 Сухой лиман
4 Входной канал Ильичевска
5 Одесский порт
6 Одесская гавань
7 Дельта Днепра
8 Дельта Буга
9 Прибрежные воды портов Южный и Очаков
10 Каркинитский залив
11 Каламитский залив
12 СЗ акватория, открытая часть
13 Севастопольский залив
14 Алупкинский залив, зона рекреационного использования вод
15 Алупкинский залив, открытая часть
16 Ялтинский залив близ зоны порта
17 Ялтинский залив, зона рекреационного использования вод
18 Ялтинский залив, открытая часть
19 Гурзуфский залив, зона рекреационного использования вод
20 Гурзуфский залив, открытая часть
21 Феодосийский залив
22 Черное море, открытая часть
23 Акватория гавани Анапы
24 Акватория гавани Новороссийска
25 Акватория гавани Геленжика
26 Акватория гавани Туапсе
27 Акватория гавани Сочи
28 Акватория гавани Пицунды
29 Акватория гавани Сухуми
30 Акватория гавани Поти
31 Батумский залив

$$QSW = \frac{\sum_{n} \frac{C}{MAC}}{n},$$

где C - концентрация загрязнителя;
MAC - максимально-допустимая концентрация;
n - число загрязнителей.

Таблица

Ущерб биоценозам и популяциям видов в черном море, причиненный ядерными и неядерными загрязнениями

Оценка экологического ущерба за период 1960-1990 гг: % хронически нарушенных популяций и биоценозов[11]	Летальные хронические дозы ионизирующей радиации (Гр) [19]	Эквивалентные летальные хронические дозы неядерного загрязнения (Гр-экв./год) A	Мощности доз от ядерных источников в морской среде (Гр/год) B [2, 7, 15]	Отношение A/B
1. Биоценоз Cystoseira barbata: уничтожено > 99 % в основном эвтрофикацией и загрязнением	Для Thallophyta (включая водоросли)		< 0.005	10^4-10^7
	180-72000	180-72000		
2. Биоценоз Phyllophora: уничтожено 97 % эвтрофикацией, загрязнением и повышением мутности воды	Для Thallophyta (включая водоросли)		< 0.005	10^4-10^7
	180-72000	180-72000		
3. Популяция Ostrea edulis: уничтожено > 95 % повышением мутности воды	Для Mollusca		< 0.007	10^5-10^6
	600-6000	600-6000		
4. Популяция Mytilus galloprovincialis: уничтожено 60 % эвтрофикацией	Для Mollusca		< 0.007	10^5-10^6
	600-6000	600-6000		
5. Популяции Crustacea (крабы - 14 видов, креветки > 20 видов): уничтожено 50-70 и 60 % переловом – крабы, гипоксией – креветки	Для Crustacea		< 0.007	10^4-10^5
	90-3600	90-3600		
6.Популяции Gobiidae (20 видов): уничтожено 80 % гипоксией и разрушением нерестилищ	Для Pisces		< 0.007	10^4-10^6
	42-360	42-360		
7. Популяции Mammalia (дельфины - 3 вида, подвиды-эндемики) уничтожено 90-95 % интоксикацией и гибелью при ловле рыбы **Популяция тюленя-монаха** уничтожена практически на 100% отсутствием мест для размножения и интоксикацией	Для Mammalia		< 0.006	10^3-10^4
	12-90	12-90		

Выводы

Поражающее хроническое и острое действие, производимое неядерными загрязнителями на экосистемы черноморского шельфа, лиманов и устьев рек, количественно эквивалентно экологическим эффектам ядерных загрязнителей в ближней (несколько км) зоне ЧАЭС, на Кыштымском следе, в оз. Карачай и в других подобных специфических ядерных зонах в разных районах мира. Такая ситуация на Черном море нуждается в кардинальном улучшении как на основе регламентации охраны живой природы (Whiker, 1997), так на принципах экологической этики (Kinne, 1997).

Имеется большой пробел знаний по количественным экологическим эффектам сероводорода, дефицита кислорода и многих других неядерных факторов. Необходимы как мониторинг в природе (Polikarpov, 1998b; Tsytsugina, 1998), так и использование микрокосма (Fuma, Miyamoto, Takeda et al., 1998a,b).

Предлагается развивать в будущем, если возможно, под эгидой МАГАТЭ, детально обоснованное выражение эквивалентности для сравнения экологического воздействия ядерных и неядерных загрязнителей, а также создание сравнительный молисмологической теории экологической эквивалентности действующих доз всех видов экологически повреждающих источников (электромагнитных, механических, химических), включая недостаток или избыток жизненно-важных веществ. Это большая, но неизбежная работа в области экологической защиты от неблагоприятного действия радиоактивных и химических агентов.

Радиоэкология потенциально высоких мощностей доз, эффективных для природных экосистем, будет постоянно необходима в век ядерной энергии с его потенциальными ядерными авариями и неисключенным ядерным терроризмом. Радиоактивность окружающей среды представляет собой превосходный и очень чувствительный экологический метод изучения ядерных и неядерных загрязнителей: а/ производимых ими экологических эффектов и б/ их судьбы в море, включая перенос к человеку.

Автор весьма благодарен организаторам Симпозиума МАГАТЭ за их поддержку, особенно д-ру М. Самиэи (МАГАТЭ, Вена) и проф. П.П, Повинеку (МАГАТЭ, ЛМОС, Монако). Я также признателен д-ру С. Фума (НИРН, Япония) за полезные комментарии моего предварительного текста. Работа поддержана частично МАГАТЭ (IAEA TC Project RER/2/003) и частично Международным Союзом Радиоэкологии (IUR-PECO Contract No ERBCIPDCT940802).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ПОЛИКАРПОВ Г. Г. Радиоактивные изотопы и ионизирующие излучения в морской биологии. Труды Севастопольской Биологической Станции, т. 13 (1960), стр. 275-292.

2 ПОЛИКАРПОВ Г.Г„ ЕГОРОВ В.Н. Морская Динамическая Радиохемоэкология Энергоатомиздат, Москва (1986), 177 стр.

3 POLIKARPOV, G.G., KULEBAKINA, L.G., TIMOSHCHUK, V.I., STOKOZOV, N.A. ^{90}Sr and ^{137}Cs in surface waters of the Dnieper River, the Black Sea and the Aegean Sea in 1987 and 1989. J. Environ. Radioactivity 13(1991) 25-38.

4 POLIKARPOV, G.G., Conceptual model of responses of organisms, populations and ecosystems to all possible dose rates of ionising radiation in the environment. Radiation Protection Dosimetry, 75 (1998) 181-185.

5 POLIKARPOV, G.G. Biological aspect of radioecology: objective and perspective. International Workshop on Comparative Evaluation of Health Effects of Environmental Toxicants Derived from Advanced Technologies, National Institute of Radiological Sciences: Abstracts (1998) 1-2; Papers (1998) (Accepted).

6 POLIKARPOV, G.G., LIVINGSTON, H.D., KULEBAKINA, L.G., BUESSELER, K.O., STOKOZOV, N.A., CASSO, S.A. Inflow of Chernobyl ^{90}Sr to the Black Sea from the Dnieper River. Estuarine Coastal Shelf Sci., 34 (1992) 315-320.

7 POLIKARPOV, G.G., ZAITSEV, Y.P., ZATS, V.I., RADCHENKO, L.A. Pollution of the Black Sea (Levels and sources), Proc. of the Black Sea Symposium. Ecological Problems and Economical Prospects, 1991, Publ. by The Black Sea Foundation for Education, Culture and Protection of Nature, Istanbul (1994) 15-42.

8 BUESSELER, K.O., LIVINGSTON, H.D. Natural and man-made radionuclides in the Black Sea, Radionuclides in the Oceans. Inputs and Inventories, Institut de Protection et de Surete Nucleare, Les Editions de Physique, Les Ulis cedex (1996) 199-217.

9 EGOROV, V.N., POVINEC, P.P., POLIKARPOV, G.G., KULEBAKINA, L.G., STOKOZOV, N.A., GULIN, S.B., OSVATH, 1. ^{90}Sr and ^{137}Cs in the Black Sea after the Chernobyl accident: inventory, balance and tracer applications. J. Environ. Radioactivity (1998) (Accepted).

10 EGOROV, V.N. Modelling of migration o radionuclides and trace elements between components of the Black Sea ecosystems. These Proceedings.

11 ZAITSEV, Y., MAMAEV, V., Marine Biological Diversity in the Black Sea. A Study of Change and Decline. United Nations Publications, New York (1997) 208 pp.

12 FUMA, S,, MIYAMOTO, K., TAKEDA, H,, YUANAGISAWA, K., INOUE, Y., SATO, N., HIRANO, M., KAWABATA, Z. Ecological effects of radiation and other environmental stress on aquatic microcosm. International Worksop on Comparative Effects of Health Effects on Environmental Toxicants Derived from Advanced Technologies. National Institute on Radiological Sciences: Abstracts (1998) 21-22; and Papers (1998) (Accepted).

13 FUMA, S,, MIYAMOTO, K., TAKEDA, H,, YUANAGISAWA, K, INOUE, Y., SATO, N., HIRANO, M., KAWABATA, Z. Effects of gamma-rays on populations of the steady-state ecological microcosm. Int. J. Radiat. Biol. 74, 1 (1998) 145-150.

14 FLOROU, H,, KRITIDIS, P., POLIKARPOV, G.G., TRIULZI, C,, NONNIS-MARZANO, F. Radiological assessment of long lived radionuclides transferred through aquatic pathways. One Decade After Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident. Poster Presentations, Vol.2. International Conference Held in Vienna, 8-12 April, 1996, IAEA-TECDOC-964, Vienna (1997) 99-106.

15 ПЕРЦОВ Л.А. Биологические Аспекты Радиоактивного Загрязнения Моря. Атомиздат, Москва (1978), 160 стр.

16 POLIKARPOV, G.G., Effects of ionizing radiations on aquatic organisms (Chronic irradiation), Alcuni Aspetti di Radoiecologial. Atti: XX Congresso Nazionale AIFSPCR, Bologna (1977) 25-46.

17 ТРЕТЬЯКОВА, В.Д., АГЕЕВА, Т.М,, ВОРОНЕНКО, Л.С. Токсикологическая характеристика экосистемы Керченского пролива, 2-ая Всесоюзная Конференция по Рыбоводной Токсикологии, Посвященная 100 Годовщине Проблемы Качества Воды в России, Тезисы, 2 (1991), стр. 219-220.

18 MANDYCH A.F,, SHAPORENKO, S.I., Influence of the economic activities on coasts upon coastal waters of the Black Sea. Geo Journal, 27, 2 (1992) 195.

19 ПОЛИКАРПОВ Г.Г., ЗАЙЦЕВ Ю.П. Горизонты и Стратегия Поиска в Морской Биологии (Доклад на Президиуме Академии Наук УССР, 18 мая 1968 г.)., Изд-во "Наукова думка", Киев (1969), 31 стр.

20 ЗАЙЦЕВ Ю.П., ПОЛИКАРПОВ Г.Г. Черное море. В кн.: ГРЕЗЕ В.Н,, ПОЛИКАРПОВ Г.Г., РОМАНЕНКО В.Д. и др. Отв. ред. РОМАНЕНКО В.Д. Моря и Внутренние Воды. Природа Украинской ССР. Наукова думка, Киев (1987), стр 17-29.

21 IAEA, Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at Levels Implied by Current Radiation Protection Standards. Technical Report series (1992), IAEA, Vienna, No. 332.

22 WOODHEAD, D.S. Dosimetry and the assessment of environmental effects of radiation exposure, Radioecology after Chernobyl. Biogeochemical Pathways of Artificial Radionuclides, SCOPE50 (1993) 291-306.

23 WHICKER, W. Radioecology: coming of age J. Environ. Radioactivity, 35 (1997) 111-114.

24 KINNE, 0. Ethics and eco-ethics. Marine Ecology Progress Series, 153 (1997) 1-3.

25 TSYTSUGINA, V.G. Chromosome mutagenesis induced by radioactive and chemical pollution in natural populations of aquatic organisms from the Black Sea and its basin. These Proceedings.

ЗАКОН ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ХОЗЯИНА И ПАРАЗИТА ПО Н.И.ВАВИЛОВУ И ЕГО РОЛЬ В СОВРЕМЕННУЮ ЭПОХУ

Н.В. Васильев, Т.И. Коляда

Харьковский НИИ микробиологии и иммунологии им. И.И. Мечникова

Рубеж 3-го тысячелетия ознаменовался крупными событиями, происходящими в сфере эпидемиологии инфекционных болезней - событиями, весьма масштабными, опасными и ждущими своего разъяснения. Речь идет о своеобразном "втором дыхании", которое получила инфекционная патология - вопреки прогнозам, высказывающимся в середине столетия, согласно которым она должна была сойти с авансцены к концу XX века. Последующие события продемонстрировали степень нашей самоуверенности и неосведомленности, и сейчас очевидно, что в данной области не только возможны, но и неизбежны грозные сюрпризы.

Действительно, впервые за всю историю существования научной медицины мы стали не только свидетелями воскрешения классических инфекционных нозологий, но и рождения новых, опасность которых во много раз превосходит все, с чем человечество имело дело до настоящего времени. Речь идет, прежде всего, о пандемии ВИЧ-инфекции, уже унесшей миллионы жителей и представляющей ныне смертельную угрозу для существования целых стран. Вряд ли было бы однако правильно рассматривать ВИЧ-пандемию как эксквизитную случайность - скорее всего, она представляет собою закономерное проявление малоизученных глубинных процессов, происходящих в современной биосфере. К сожалению, можно предполагать, что СПИД - это первый, но не последний эпизод в серии биологических катастроф, которыми чревато будущее.

Вторым характерным моментом последней четверти минувшего столетия являлись расконсервирование и генерализация ряда бывших до настоящего времени редкими инфекций - преимущественно экзотических и, в основном, вирусных. Речь идет, в частности, о ряде экзотических вирусных инфекций, громко заявивших о себе в последние годы.

Наконец, налицо широко распространенный патоморфоз ряда классических инфекций, например, холеры, характерной чертой которого является тенденция к хронизации инфекционного процесса и широкому распространению феномена персистенции возбудителя.

Совершенно очевидно, что отсутствие надежной информации о внутренних пружинах всех этих явлений, перечень которых можно было бы продолжить - чревато тяжелыми потерями, поскольку в настоящее время мы вынуждены констатировать события, не умея их прогнозировать и опережать.

Судя по всему, все эти явления представляют собою частные аспекты глобального экологического кризиса, связанного с переходом биосферы на качественно новую ступень ее развития (превращение биосферы в ноосферу), характерной чертой которых является все большая глобализация деятельности человека. И речь идет не только о техногенных загрязнениях, хотя роль последних значительна, а о ломке урбанизированной цивилизацией всей структуры экологических связей, сформировавшихся в ходе развития биосферы, завершившейся появлением кроманьонца.

В XX веке эти явления дополнились ломкой эндоэкологических связей человека как биосоциального вида за счет пересмотра веками складывавшихся

морально-этических норм.

В связи со сказанным, необходимо подчеркнуть два основополагающих обстоятельства:

Первое - социальная природа человека не отрицает и не отменяет того, что фундаментальные биологические законы, на основании которых произошло становление Homo sapiens, действуют и поныне в недрах человеческого общества, все более преломляясь, однако, через призму социальных отношений.

Вектор второго противоположен первому - социальная сущность человека подчиняет его действию не только биологических, но и социальных законов, примат которых реален, но не абсолютен. Оказавшись, следовательно, объектом биосоциальных процессов, человек как биологический вид попадает в зону повышенного риска, поскольку временной масштаб биологических процессов отличается от масштаба процессов социальных (исторических) как минимум на 2-4 порядка. Единица биологического времени - десятки и сотни тысяч лет, если речь идет о виде, и миллионы лет, если речь идет об эволюции крупных таксонов.

Единица социального (исторического) времени - сотни, десятки лет, а в современную эпоху с ее ускоряющимся темпом развития - годы.

В результате там, где происходит переплетение биологических и социальных процессов - а именно в фокусе такого переплетения и находится человек - формируется несовместимость временных масштабов изменений, происходящих в биологической и социальной сфере, вследствие чего возникает состояние, которое можно обозначить как ноосферный десинхроноз. Конкретно это значит, что темпы биологической изменчивости и видовой адаптации человека чрезвычайно отстают от темпов антропогенных преобразований в ноосфере, поскольку социум, меняясь сам, революционно меняет и окружающую среду.

Следовательно, обратясь вновь к инфекционной патологии, пытаясь понять происходящие в этой сфере изменения, необходимо обсудить вопрос об эволюции инфекций, интерпретируя его и с общебиологических, и с социальных позиций. В связи с этим целесообразно проанализировать ситуацию с позиций учения о сопряженной эволюции хозяина и паразита, в частности, с позиций закона о их коэволюции (параллельной эволюции) основные положения которого были обозначены Н.И.Вавиловым применительно к инфекционным болезням растений.

Прежде всего - что такое закон параллельной эволюции хозяина и паразита, и в какой мере мы поступаем правильно, обозначая его как закон Н.И. Вавилова.

Подчеркнем, что хотя развернутой его формулировки Н.И.Вавилов не оставил, основное положение закона, согласно которому "эволюция паразитов... неотделима от эволюции хозяев", сформулировано (хотя и в предположительной форме) именно им в его классическом труде "Учение об иммунитете растений к инфекционным заболеваниям".

Основные следствия, вытекающие из главного определения, могут быть сформулированы следующим образом:

1 Большинство видов паразитов, в том числе патогенных грибов, бактерий и вирусов, приурочено в их эволюции к определенным родам и видам хозяев.

2 Явления специализации паразитов по родам и видам хозяев обусловлены процессом дивергенции хозяев и паразитов в их эволюции.

Тенденция к специализации имеет, вероятно, биохимическую основу, связанную с ферментативной деятельностью паразитов, сужении ее амплитуды и уменьшении набора продуцируемых паразитом ферментов. Чем выше степень специализации паразита, тем больше шанс нахождения у хозяина иммунных

форм.

3 Появление новых или распространение редких генетических вариантов хозяина может вызывать соответственно широкое распространение редких до этого разновидностей паразитов.

4 Чем слабее специализация паразита, тем меньше шансов на существование резистентных вариантов хозяина.

Обсуждая эти положения, необходимо иметь в виду три обстоятельства.

Во-первых, будучи основоположником учения иммунитета у растений, Н.И.Вавилов не рассматривал вопрос о возможности распространения выявленных им закономерностей на животных и тем более на человека.

Во-вторых, говоря о наследуемой изменчивости хозяина и паразита, Н.И.Вавилов имел в виду прежде всего мутационный процесс. В настоящее время, после открытия феномена трансдукции (рекомбинации) трансформации, в связи с успехами в области изучения транспозонов стало очевидным, что мутационная изменчивость не является единственно возможной причиной нестабильности генома. Другой, весьма существенный путь состоит в формировании гибридных генетических систем на основе длительного внутриклеточного симбиоза паразита и хозяина на клеточном и субклеточном уровнях.

Явление это, представляющее собою частный случай отбора на ассоциативность в рамках концепции П.Н. Кропоткина, сыграло большую роль не только в коэволюции хозяина и паразита, но и в эволюции вообще, будучи в некоторых случаях причиной масштабных ароморфозов: так, появление у эукариотических клеток митохондрий и хлоропластов, во многом определившее весь дальнейший филогенез как животных, так и растений, связано, по-видимому, с формированием устойчивого внутриклеточного симбиоза генетических систем хозяина и паразита.

Нельзя недооценивать также и возможность реализации механизмов "недарвинской" номогенетической эволюции, в частности, на основе феномена преадаптации. Проблема механизма коэволюции хозяина и паразита оказывается, следовательно, нераздельно сомкнутой с проблемой внутриклеточной персистенции.

В-третьих, везде, употребляя термин "иммунитет", Н.И. Вавилов понимал под этим противопаразитарную (в том числе противоинфекционную) резистентность, и именно в такой редакции предложенные им формулировки должны вписываться в круг принятых ныне представлений об иммунитете как о способе сохранения биохимической индивидуальности организма - но только на основе специфических взаимодействий комплементарных структур.

Не углубляясь чрезмерно в эти вопросы, отметим, что сужение категории иммунитета до круга понятий, связанных исключительно с комплементарными взаимодействиями в системе "антиген-антитело"; с нашей точки зрения неправомерно. Как биологическая категория, понятие "иммунитет" гораздо шире, и он может обеспечиваться не только иммунологическими - в смысле комплементарными - взаимодействиями, но и рядом других механизмов. И напротив, иммунологические взаимодействия могут иметь иную биологическую задачу, чем обеспечение противоинфекционной резистентности. Вследствие этого здесь и ниже мы будем употреблять термин противоинфекционный "иммунитет" в том расширенном смысле, в каком его употреблял Н.И.Вавилов, различая три уровня, обеспечивающих противоинфекционную резистентность

механизмов:

- генетически детерминированные ("конституциональный иммунитет" по С.Н.Румянцеву (1983);

- собственно иммунологические, основанные на специфических взаимодействиях типа "антиген-антитело".

Эволюция иммунитета при этом неотделима от эволюции паразитизма, а филогенез иммунитета как биологической категории вообще неразрывно связан с филогенезом различных форм симбиоза, включая ассоциативные взаимоотношения с нормальной микрофлорой и инфекционный процесс. Именно симбиотические - в том числе – паразитические взаимоотношения представляют собою тот паритетный по отношению к гомеостазированию многоклеточных систем биологический корень, который является источником "биологического заказа" на формирование всей феноменологии иммунитета, включая высшие его специфические формы у теплокровных и у человека.

Закон параллельной эволюции распространяется на все обозначенные выше уровни и является универсальным для всех видов про- и эукариот, включая растения, животных и человека, а сам феномен этот служит одним из мощных стимулов эволюционного процесса. Основные его положения были развиты в дальнейшем рядом авторов, в частности, В.Д.Эфроимсоном (1970) и С.Н.Румянцевым (1983).

Согласно В.Д.Эфроимсону (1970), в двучленной системе видов паразита и хозяина на основе заложенных в ней противоречий возникает самодвижение, в ходе которого естественный отбор подхватывает изменения, способствующие формированию иммунитета, в результате чего в недрах вида - хозяина возникают варианты, располагающие адекватными механизмами противоинфекционной резистентности, а в системе паразитического вида варианты, обладающие механизмами преодоления иммунитета. Таким образом, противостоящие партнеры "паразит-макроорганизм" и их взаимоотношения являются продуктом длительного процесса коэволюции, в ходе которой оба партнера взаимоадаптируются в результате процессов мутирования, рекомбинации и интенсивного естественного отбора. И чем сложнее взаимозависимость в этой двучленной системе, тем легче они могут нарушаться в каком-либо звене вследствие мутации у макроорганизма, побуждающей паразита к новому витку эволюции, причем эволюции сопряженной.

При этом события могут развиваться в двух на первый взгляд взаимопротивоположных, но по сути своей дополняющих друг друга направлениях.

Первый вектор - вектор специализации, роль которой особенно акцентируется Н.И.Вавиловым, нацелен на повышение специфичности трофической связи хозяина и паразита. Выгода данной стратегии для паразита состоит в том, что повышение специфичности позволяет ему более надежно заполнить экологическую нишу, вытесняя из нее менее специализированных конкурентов. Эволюция эта происходит в рамках процесса дивергенции и преимущественно с использованием механизмов конституционального иммунитета, который оказывается в данной ситуации в прямом смысле специфическим, хотя лежащие в его основе биохимические взаимодействия далеко не всегда относятся к категории иммунологических - чаще это фермент-субстратные взаимодействия. Повышение специфичности взаимодействий хозяина и паразита инвариантна, следовательно, по отношению к конкретным механизмам иммунитета, лежащим в его основе (это могут быть механизмы и конституционального, и фагоцитарного, и специфического, основанного на чисто

иммунологических по типу антиген-антитело взаимодействиях).

Отбор на максимальное приспособление патогенного микроба к организму хозяина приводит к возрастающей специализации облигатного паразита, формируя в конечном счете полную его зависимость от хозяина, однако опора на одну точку всегда надежнее, и мутация хозяина, приводящая к разрыву указанной трофической связи, может поставить под угрозу само существование паразита как биологического вида.

Подчеркнем, что для такого разрыва трофической цепи в ряде случаев требуется даже не полное исчезновение из тканей хозяина необходимого паразиту биохимического фактора, а лишь сравнительно небольшая структурная перестройка, превращающая субстрат в антиметаболит.

Так, у человека наследственное наличие нормального полипептида цепи 7b 0-гемоглобина определяет восприимчивость к малярии, а отсутствие ее (7b 0-талессемия или некоторые множественные аллели нормального гена этой цепи) формирует устойчивость к плазмодию, характерную для некоторых аборигенных популяций Африки.

Из числа мутаций у хозяина естественный отбор подхватывает прежде всего те, которые превращают кодируемый биохимический фактор в его же структурный аналог, вступающий в соединение с соответствующими ферментативными и (или) рецепторными структурами паразита и блокирующие их.

Вследствие всего сказанного, вектор специализации сочетается с другим направлением эволюции паразита - вектором полигостальности, обеспечивающим увеличение круга хозяев и соответственно расширения экологической ниши. В отличие от вектора специализации вопрос о векторе полигостальности Н.И.Вавиловым не рассматривался и проблема диалектического взаимодействия этих направлений коэволюции хозяина и паразита нуждается в дальнейшем анализе.

Основой противоинфекционной наследственной резистентности у животных к микробным паразитам служат, согласно А.Д.Эфроимсону, балансированный наследственный полиморфизм хозяина, затрагивающий многие морфофункциональные и биохимические признаки и создающий условия для обеспечения практически безграничного биохимического разнообразия его популяции.

Темп развития внутривидового защитного полиморфизма на 2-3 порядка превосходит скорость образования различий в видовой противоинфекционной резистентности, обеспечивая тем самым возможность быстрой наследственной адаптации популяции хозяина к паразиту. Примером служит известный эпизод, имевший место в популяции у устриц в зал. Мальпеке, где в 1915 г. возникла вспышка инфекции, в ходе которой погибало от 90 до 100% особей. К 1927 г. улов снизился почти до нуля. Вскоре после этого, однако, возник интенсивный подъем численности популяции, практически восстановившейся через несколько лет, но состоявшей теперь из высоко резистентных к данной инфекции особей.

Другим, почти каноническим, примером является известная попытка уменьшения поголовья кроликов в Австралии путем искусственного распространения в их среде миксоматоза.

Число систем наследственного балансированного полиморфоза у человека составляет, по-видимому, многие тысячи, причем в создании каждой из них участвует необычайно мощный фактор отбора. Полагают, (В.Д. Эфроимсон, 1970), что этим фактором как раз и являются различного рода инфекции.

Следует подчеркнуть, однако, что инфекция может служить фактором естественного отбора у хозяина лишь в том случае, если вызываемое ею заболевание или его осложнения, или отдаленные последствия прямо или косвенно приводят к повышению летальности, причем повышению значительному.

В противном случае инфекционный процесс может служить фактором эволюции и естественного отбора только применительно к популяции паразита (типичный пример - современные эпидемические вспышки гриппа, за исключением, разумеется, "испанского гриппа" 1918-1921 гг.). Хотя конкретные проявления закона параллельной эволюции хозяина и паразита в большой мере определяются особенностями филогенеза хозяина, о чем говорил еще Н.И.Вавилов (1967), реализация его в любом случае зависит от взаимодействия хозяина и паразита в конкретных условиях внешней среды. Нетрудно заметить, что указанные три компонента присутствуют также в определениях инфекционного и эпидемического процессов. Вследствие этого возникает вопрос о соотношениях закона Н.И. Вавилова и сформулированного В.Д.Беляковым (1979, 1980) закона саморегуляции паразитарных систем (ЗСП) на основе взаимодействия генотипически и фенотипически неоднородных популяций паразита и хозяина. Именно саморегуляция обеспечивает, по В.Д.Белякову, сохранение вида паразита-возбудителя, своевременно чередуя фазы его распространения.

Напомним, что теория саморегуляции паразитарных систем включает, по В.Д.Белякову следующие основные взаимосвязанные положения, характеризующие популяции паразита и хозяина в их взаимодействии:

1) гено- и фенотипическая неоднородность (гетерогенность) популяций паразита и хозяина по признаку отношения друг к другу;

2) динамическая изменчивость взаимодействующих популяций;

3) самоперестройка популяций как основа фазности развития паразитарных систем;

4) основополагающая и регулирующая роль социальных и природных условий.

Представляется, очевидным, что закон саморегуляции паразитарных систем есть не что иное, как конкретное приложение закона Вавилова к популяциям животных и человеку, поскольку четвертое его положение относится именно к человеческому обществу. Имеющиеся между ними различия, могут быть сведены, прежде всего, к двум главным моментам:

1) закон Вавилова имеет общебиологический характер, распространяясь и на про-, и на эукариот, как на растения, так и на животных.

Реализация этого закона происходит прежде всего на основе сбалансированного полиморфизма и генетически детерминированных механизмов врожденной противоинфекционной резистентности (конституционального иммунитета).

2) действие закона саморегуляции паразитарных систем (ЗСПС) рассматривается прежде всего с позиций учения о приобретенном иммунитете.

Иными словами, закон Вавилова ориентирован более на генотипическую, а ЗСПС - на фенотипическую изменчивость (выработка популяционного приобретенного иммунитета). Действие генетических факторов, однако, реально и в этом случае: хотя приобретенный иммунитет является приобретенным признаком, способность ограничения в выработке иммунитета генетически детерминировано. Вследствие этого у одних особей имеется способность к выработке напряженного и длительного иммунитета, у других же он мало напряжен и непродолжителен.

Действие закона параллельной эволюции в условиях человеческого общества имеет свою специфику, зависящую от этапа развития социума. Поскольку реализации данного закона является результирующей взаимодействия трех компонент:

1) популяции хозяина;

2) популяции возбудителя;

3) конкретных условий среды, в котором это взаимодействие происходит, необходимо рассмотреть особенности действия закона Вавилова в зависимости от этапов исторического (социального) процесса.

Окончательное становление кроманьонца произошло примерно 40 тысяч лет назад. Homo sapiens все в большей мере подчиняется социальным закономерностям, которые однако не отменяют, а включают закономерности биологические - и из числа закона параллельной эволюции хозяина и паразита. Важнейший момент состоит при этом в трансформации фактора естественного отбора, все более и более сменяющегося отбором биосоциальным. Изменение эти, однако, происходят не мгновенно, а развертываются в масштабах исторического времени постепенно, на протяжении многих тысячелетий. Начиная с эпохи первобытно-общинного строя, между популяцией человека и окружающей его природной средой все более и более опускается социальный экран, процесс формирования которого приобрело экспоненциальный характер в течение двух последних столетий, то есть во временной шкале биосферных процессов - мгновенно. Именно здесь, на конечном отрезке биосоциальной эволюции имеется наибольшая вероятность проявления феномена биосферного десинхроноза, о котором говорилось ранее.

В эпоху первобытно-общинного строя антропогенный прессинг на окружающую среду был минимален, а влияние средовых факторов на человека осуществлялось, как и в досоциальную эпоху, в большой мере прямым и непосредственным образом. Поскольку ранние кроманьонцы по образу своей жизни были собирателями и охотниками существовали благоприятные возможности для контакта человека прежде всего с переносчиками и возбудителями зоонозных трансмиссивных и природно-очаговых заболеваний. Разобщенность, низкая плотность и малая численность населения не способствовали распространению, а, следовательно, и эволюции облигатных возбудителей воздушно-капельных и кишечных инфекций. Межобщинные контакты носили спорадический характер, и вследствие этого условия для возникновения пандемий отсутствовали. Естественный отбор на данном этапе развития общины сохранял в рамках закона параллельной эволюции хозяина и паразита свою действенность, а социальный экран был еще слаб.

Неолитическая революция, зарождение скотоводства и земледелия, переход значительной части населения на оседлый образ жизни привели к существенным изменениям характера взаимодействие в системе "хозяин-паразит". Постоянный контакт с домашними животными увеличил вероятность заражения возбудителями зоонозов, а возрастающая плотность населения создала благоприятные условия для возникновения все более крупных эпидемических вспышек.

Следующий этап развития биосоциальных условий взаимодействия популяций хозяина и паразита связан с формированием крупных рабовладельческих или основанных на азиатском способе производства цивилизаций. Последние тяготели, как правило, к бассейнам крупных рек (Нил, Тигр, Ефрат, Янцзы, Инд, Ганг), где имелось плотное многомиллионное население.

Тем самым была создана благоприятная среда для интенсивного обмена штаммами для адаптации водных микробов-сапрофитов к паразитическому образу жизни, а также для повышения эффективности воздушно-капельной передачи инфекции. Именно в это историческое время возникли предпосылки для возникновения крупных эпидемических вспышек.

Образование крупных государств, в частности, Римской империи, а позднее арабского халифата, увеличение плотности населения, усиление межрегионального товарообмена (путь из варяг в греки и "Великий Шелковый путь"), колоссальные по своим масштабам войны и связанные с этим волны миграций (завоевательные походы Рима, нашествие гуннов, крестовые походы, позднее - татаро-монгольское иго) способствовали интенсивному межрегиональному обмену штаммами микроорганизмов, их дрейфу в направлении с востока на запад и с запада на восток. Создались условия для возникновения не просто масштабных эндемий, но и пандемий. С другой стороны, в результате прогресса цивилизации существенно возрос удельный вес социального и уменьшился вклад чисто биологического компонентов естественного отбора. Наконец, в эту эпоху человек впервые заявляет о себе как значимая планетарная сила, трансформирующая окружающую среду (пример - создание крупных оросительных систем).

Несомненно, большую роль в истории социальной трансформации проявлений закона параллельной эволюции хозяина и паразита сыграли великие географические открытия, создавшие предпосылки для трансконтинентального обмена штаммами патогенных микроорганизмов и распечатавшие изоляты. О масштабе последствий этих процессов можно судить на примере коренного населения Америки, поставленного в результате контакта с "европейскими" патогенными микробами на грань вымирания. В меньшей степени, но достаточно чувствительно отозвался этот процесс и в Европе (завоз американских вариантов бледной спирохеты).

Тем не менее, на всех этих этапах развития цивилизации и при всех их различиях, закон параллельной эволюции хозяина и паразита продолжает проявляться не только в косвенной, но и в прямой форме, поскольку высокопатогенные микроорганизмы все это время остаются мощным фактором естественного отбора (например, вплоть до середины XIX столетия детская смертность даже в развитых странах - в беднейших слоях общества - была огромной, не говоря уже о российской деревне и о слабо развитых странах Азии и Африки). Поскольку спектр возбудителей опасных - прежде всего природно-очаговых - инфекций, как правило, имел свою местную специфику, понятно, что в результате этих процессов постоянно происходило формирование региональных особенностей генетически детерминированной противоинфекционной резистентности: в очагах опасных инфекций носители восприимчивых генотипов или погибали, или уходили. Ставший хрестоматийным пример высокой резистентности к плазмодию малярии аборигенных популяций экваториальной Африки, а также повышение устойчивости к возбудителю описторхоза коренного населения Приобья - это не единичные эксквизитные эпизоды, а наиболее яркие проявления действия всеобщего закона. Исключительно тяжелое течение кори у жителей Океании и Южной Америки при первых контактах с вирусом не может быть объяснено исключительно фактором неприметной (пассивной) иммунизации, так как метисы европейского происхождения, живущие в тех же условиях, что и чистокровные индейцы, оказались достаточно устойчивыми к данному вирусу.

Речь идет, таким образом, скорее о генетических различиях, связанных с

происходящим на протяжении тысячелетий естественным отбором на устойчивость к кори (Эфроимсон В.П., 1970). С этих же позиций следует расценивать, по-видимому, и ряд других факторов, в том числе более тяжелое течение и повышенную летальность при натуральной оспе у лиц с группами крови А и АВ (данные относятся к эпохе до 1970) (Эфроимсон В.П., 1970).

Ситуация принципиально изменилась в XIX и в особенности в XX столетии в связи с вступлением земной цивилизации в качественно новую фазу развития, важнейшим элементом которой является научно-техническая революция. В течение всего лишь 150 лет человечество преобразовало себя и среду своего обитания больше, чем за всю предыдущую историю своего существования. Произошел мгновенный - в масштабах биологического, тем более исторического, времени скачок, затронувший все стороны жизни человека - как биологической, так и социальной, который не мог не отразиться и на ходе коэволюции в системе "человек-паразит".

Наиболее важными, определяющими развитие ситуации факторами, являются при этом следующие моменты:

- небывалое по масштабу антропогенное воздействие на окружающую среду и связанный с этим экологический кризис;
- формирование единой планетарной техносферы, включая систему быстродействующих трансконтинентальных коммуникаций;
- размывание межцивилизационных, межгосударственных, межрегиональных границ;
- социальные взрывы, проявившиеся в XX веке в форме мировых войн и грандиозных революций;
- огромный прогресс в сфере биологии и медицины;
- изменение социальной структуры общества, высокая степень его урбанизации;
- изменение характера питания, химизация производства и быта;
- повышение культурного уровня населения.

Перечисленные факторы оказали и продолжают оказывать возрастающее влияние на все три компонента, необходимые для реализации закона Вавилова: на популяции паразита, хозяина и на ту среду, в которой взаимодействие происходит.

Наряду с общепланетарными тенденциями, для современной эпохи характерны также выраженная неравномерность этих трансформирующих влияний и беспрецедентное обострение ноосферного десинхроноза, то есть отставания хода "биологических" часов от хода часов "исторических" ("социальных"). Действительно, перечисленные выше факторы далеко не в одинаковой степени проявляют себя в странах "золотого миллиарда" и, так называемых, развивающихся странах, степень развития которых также весьма вариабельна. (Россия и другие страны СНГ в настоящее время все более приближаются именно к этой категории).

В числе наиболее важных изменений окружающей среды должно быть названо первоочередно техногенное ее загрязнение, включая внос в биосферу больших количеств ксенобиотиков - химических мутагенов. Хотя прямые данные об ускорении мутационного процесса у патогенных микроорганизмов в интенсивно загрязненных зонах нам неизвестны, возможность такого рода не исключена. С другой стороны, сообщается о высокой чувствительности некоторых облигатных паразитов (менингококков) к техногенным токсикантам. Вследствие этого в зонах интенсивного техногенного загрязнения вероятны нарушения видового состава микробных ассоциаций, что в свою очередь может

повлиять на количественный и качественный состав популяций паразитов.

В наибольшей мере вероятен мутагенный эффект контаминантов в отношении популяций возбудителей сапронозов, длительно выживающих и размножающихся в природных средах и имеющих в силу этого высокую вероятность непосредственного контакта с мутагенами.

Развитие техносферы привело, далее, к формированию и освоению патогенными микроорганизмами антропогенных экологических ниш, а, следовательно, и возникновению новых эпидемиологических связей. В огромной степени сказанное относится опять-таки к возбудителям сапронозов, причем здесь возможна как дальнейшая эволюция уже существующих паразитических, так и появление новых за счет включения различных механизмов популяционной изменчивости, в том числе феномена преадаптации. Примером служит давно известный как причина спорадических заболеваний возбудитель псевдотуберкулеза, превратившийся в результате освоения новой для него антропогенной экологической ниши (крупные овощехранилища) в возбудителя масштабных эпидемических вспышек иерсиниозов, а также появление легионеллезов вследствие широкого использования на производстве и в быту кондиционеров, в которых происходит размножение и накопление возбудителя.

Важным фактором, влияющим на эволюцию возбудителя, является антропогенная трансформация природных ландшафтов, приводящая к преобразованию природных очагов заболеваний в антропургические очаги. Перечень этот можно было бы существенно продолжить, однако ниже мы остановимся еще лишь на двух факторах, играющих в современной эволюции возбудителей не просто большую, а в ряде случаев – определяющую роль.

Так, сильнейший прессинг на популяции возбудителей оказало массовое использование, начиная с 30-х годов XX века химиотерапевтических препаратов, а позднее - антибиотиков. Следствием этого явилось глобальное распространение лекарственноустойчивых штаммов, в той или иной степени затронувшее возбудителей большинства инфекционных заболеваний.

Однако еще более масштабное влияние на ход коэволюции хозяина и паразита в XIX и особенно XX веке оказала возросшая, прежде всего в результате развития транспортных связей, миграция. Поворотным моментом в этом процессе послужило развитие авиации, в результате чего скорость миграционных потоков возросла на порядки. Благодаря трансконтинентальным авиалиниям практически любой штамм патогенного микроба может быть сегодня переброшен в самые удаленные районы планеты в считанные часы. Ситуация усугубляется экспоненциальным ростом плотности населения Земли, связанной как с общим увеличением его численности, так и с процессом урбанизации, вступившим ныне в фазу образования мегаполисов. В результате колоссально увеличилась не только возможность прямого контакта с нехарактерными для данного региона возбудителями, адаптация к которым отсутствует, но и вероятность рекомбинационных процессов. Следствием последних является возможное формирование гибридных геномов, ведущее к скачкообразному изменению свойств возбудителя.

В результате возросший темп эволюции возбудителя вступает в противоречие с темпом биологических процессов, происходящих в популяции хозяина. Возникает, далее, возможность появления не только новых разновидностей, но и видов возбудителя, и наряду с этим складываются благоприятные условия для формирования новых микробных ассоциаций. В результате должен меняться темп не только внутри - и межвидового, но и

ассоциативного отбора. Немаловажную роль во всем этом играет расконсервация исторически сложившихся очагов природно-очаговых инфекций, особенно в экваториальном поясе планеты. Действительно, за последние 10 лет в Европе имели место несколько вспышек опасных экзотических инфекций, завезенных из Африки (вирусы Эбола и др.). Переходя на общебиологическую терминологию, указанные процессы можно квалифицировать как проявление феномена интродукции, то есть внедрение в местные биоценозы вида, искусственно занесенного туда извне.

Применительно к высшим растениям и животным подобного рода эпизоды описывались неоднократно. Нередко они существенно меняли исторически сложившуюся структуру местных межвидовых связей, по существу взламывая биоценозы (примеры размножение кроликов в Австралии и катастрофическое глобальное распространение сильнейшего аллергена - амброзии, завезенной из Америки). Но в то же время нарушение биоценотического равновесия всегда чревато развитием отклонений от нормального течения популяционных генетических процессов, и патогенные микроорганизмы в этом плане не представляют, видимо, собой исключение. Специфический для микроорганизмов момент состоит в широком распространении у них рекомбинационных процессов, результатом которых является формирование гибридных геномов. В случае, если последние находят свою экологическую нишу (в частности, на основе феномена преадаптации), возможно практически мгновенное, в масштабах даже исторического, не говоря уже о биологическом, времени, становление новых разновидностей и даже видов возбудителей инфекционных заболеваний. Не исключено, в частности, что взрывоподобное распространение ВИЧ-инфекции в начале 80-х годов XX века имело именно такой механизм.

Научно-техническая революция (НТР) оказала огромное влияние и на третий компонент коэволюционного процесса - на популяцию хозяина.

При этом можно выделить, как минимум, следующие основные моменты:

- трансформация демографических процессов (становление современного типа воспроизводства населения на основе уменьшения рождаемости и смертности (увеличение средней продолжительности жизни)
- ориентация на трех-четырехчленную семью, изменение структуры смертности за счет уменьшения вклада инфекционной патологии);
- усиление миграционных процессов, вплоть до формирования, так называемых, "проточных популяций", то есть популяций с постоянно меняющимся составом (вопрос частично уже освещен выше);
- влияние антропогенных химических и физических загрязнений окружающей среды на состояние резистентности организма;
- изменение коллективного иммунитета в результате предохранительных прививок;
- повышение общекультурного уровня населения, санитарные мероприятия;
- широкое использование лекарственных, в том числе антимикробных, препаратов (прежде всего антибиотиков и сульфаниламидов);
- генная инженерия, клонирование человека (перспектива).

Все эти и многие другие моменты (перечень далеко не полон) приводят в конечном счете к глубоким изменениям структуры популяционной резистентности - и, следовательно, хода коэволюции хозяина и паразита.

Необходимо подчеркнуть, что рассматриваемые процессы далеко не завершены и по-разному протекают в развитых и развивающихся странах.

Основополагающим в этом перечне являются два взаимосвязанных момента: становление современного типа воспроизводства населения, обусловленное формированием глобального индустриального общества, и научно-техническая революция.

НТР создала предпосылки для глобального снижения общей и детской инфекционной смертности. В особой степени это относится к развитым странам, где общая инфекционная смертность от традиционных инфекций исчезающе мала. Гораздо меньше данный процесс коснулся развивающихся стран, однако и здесь показатели инфекционной смертности имеют устойчивую тенденцию к снижению (кроме ВИЧ-инфекции). В результате отпала объективная необходимость в высокой рождаемости, которая снизилась в развитых странах до величин, обеспечивающих расширенное воспроизводство населения на основе четырехчленной семьи (два ребенка в семье). В развивающихся странах, в силу господствующего консерватизма бытовых и морально-этических норм указанные процессы хотя и имеют тот же вектор, но развиваются гораздо медленнее. Тем не менее, детская инфекционная смертность резко уменьшается и здесь, и тем самым создаются условия для быстрого увеличения численности населения планеты ("демографический взрыв"). Кроме того, в развитых странах происходит стремительное постарение популяции, что также может отразиться на динамике эпидемических процессов.

О роли усиления миграционных процессов уже было ранее сказано. Добавим, что в "проточных популяциях" существенно повышен процент межэтнических браков (этот феномен наблюдался, в частности, на комсомольско-молодежных стройках, куда стекалась молодежь со всех концов страны). Поскольку связь антропогенной мозаичности с индивидуальной резистентностью к тем или иным возбудителям доказана, эти процессы, влияя на генетическую структуру популяций не могут не отражаться на ходе процесса коэволюции хозяина и паразита. Добавим, что само по себе перемещение человека из одной природно-очаговой зоны в другую вызывает длительные фазные изменения со стороны индивидуального и популяционного иммунитета.

Динамические и физические нарушения окружающей среды оказывают весьма негативное действие на противоинфекционную резистентность организма. Литература по этому вопросу ограничена.

К хорошо известному факту иммунодепрессивного влияния контаминантов следует добавить наличие у них аллергирующих свойств, провоцирующих патоморфоз (в частности, хронизацию инфекционного процесса).

Именно антропогенная контаминация постоянно индуцирует появление вторичных (а также, не исключено, и первичных) иммунодефицитов.

Особая роль в изменении популяционного иммунитета принадлежит предохранительным прививкам, наличие которых позволило перевести ряд инфекций в разряд управляемых, а некоторые - ликвидировать совсем (натуральная оспа). Этот факт следует рассматривать в контексте с другим, не менее важным - с внедрением в медицинскую практику химиотерапевтических препаратов и антибиотиков, позволивших резко снизить инфекционную смертность.

Таким образом, в течение последних 150 лет, в ходе развития цивилизации проявили себя мощные процессы, затронувшие - а в некоторых случаях и полностью преобразовавшие - все три компонента, взаимодействующие в рамках закона параллельной эволюции хозяина и паразита. Основной итог этих преобразований может быть сформулирован следующим образом: с середины XIX века имеет место резкое сужение сферы естественного отбора хозяина и

увеличение - особенно в результате рекомбинационных процессов - изменчивости паразита. Действие закона параллельной эволюции хозяина и паразита тем самым оказывается трансформированным, причем процесс этот протекает в различных странах и применительно к разным инфекционным нозологиям по-разному. В развитых странах применительно к традиционному кругу инфекций сфера действия его практически сведена к нулю, вследствие успехов специфической и неспецифической профилактики. В развивающихся странах сфера действия этого закона также сужается, так как система профилактических мероприятий все более проникает в жизнь и здесь, а инфекционная смертность, являющаяся важнейшим фактором, необходимым для проявления данного закона, также уменьшается. В то же время в развивающихся странах вследствие низкого уровня жизни и плохих санитарных условий действие его в самом прямом виде применительно к пауперизированным слоям общества далеко еще не снято даже применительно к традиционному кругу нозологий.

Более того, в последние десятилетия произошли сдвиги, свидетельствующие о том, что сдавать в архив закон параллельной эволюции хозяина и паразита явно преждевременно. Напомним, что в условиях социума реализация его требует сочетанного действия как минимум двух трех факторов: высокой, по крайней мере на первых этапах межпопуляционного взаимодействия, его патогенности и минимизации эффективности социального экрана, ограничивающего связанную со взаимодействием летальность в популяции хозяина. В случае если социальный экран в форме лечебных и профилактических мероприятий по какой-то причине оказывается недействительным - действие ЗПЭ может проявиться по существу в естественной, досоциальной форме. Очевидно, что в современную эпоху это возможно лишь в случае проявления высокопатогенного возбудителя, по отношению к которому видового иммунитета у человека нет, а лечебно-профилактические мероприятия неэффективны.

Еще тридцать-сорок лет назад перспектива подобного рода показалась бы плагиатом из "Войны миров" Уэллса. Ныне это - суровая реальность, поскольку современное поколение микробиологов и инфекционистов оказалось свидетелем рождения особо опасной инфекции - СПИДа.

Специфическая особенность этой инфекции состоит в ее фатальности для человека. Появление СПИДа в последней четверти минувшего столетия, - как и последовавшее за этим глобальное его распространение - произошло в масштабах не только биологического, но и исторического времени практически мгновенно - в считанные годы.

Внезапность, с какой заявил о себе ВИЧ, позволяет предполагать, что в данном случае мы имеем дело не с постепенным накоплением мутационных изменений, а с сальтацией - скачкообразным изменением генома, происшедшим, скорее всего, на основе интродукции и рекомбинации генетического материала. Не исключено также, что в формировании ВИЧ-инфекции сыграл свою роль феномен преадаптации, являющийся одним из "белых пятен" современной генетики.

Рассматривая становление ВИЧ-инфекции как уникальный пример проявления закона коэволюции хозяина и паразита в условиях ноосферы, следует особо оттенить то обстоятельство, что коэволюционный процесс развертывается не в биологической, а в биосоциальной среде, влияние которой в данном конкретном случае прослеживается вполне отчетливо. Развитие ситуации с ВИЧ-инфекцией вряд ли можно рассматривать вне связи ее с той ломкой эндоэкологических связей и прежде всего традиционных морально-этических

норм, которой ознаменовалась вторая половина XX века. Не случайно из числа развитых стран в центре событий оказались прежде всего США, где особенно ярко обозначились такие социальные феномены, как сексуальная революция, широкое распространение гомосексуализма и катастрофический рост наркомании - в том числе связанных с инъекционными процедурами.

О молодости ВИЧ-инфекции говорит ее фатальность. Если представить событиям возможность естественного их развития, то с течением времени в рамках закона параллельной эволюции у человека должны появиться генотипы, более резистентные по отношению к ВИЧ-инфекции, но все это может произойти лишь в итоге смены многих поколений хозяина, что возможно только теоретически.

Ситуация, сложившаяся вокруг ВИЧ-инфекции, не может рассматриваться как чистая случайность. Это - закономерное следствие расконсервации природных очагов, усиления миграции и обмена генотипами. Она усугубляется тем, что до настоящего времени, несмотря на усилия мировой науки, эффективные способы профилактики и лечения ВИЧ-инфекции не разработаны.

Вполне вероятно, что в аналогичном - хотя и менее драматическом положении - может оказаться человечество и в случае появления варианта вируса гриппа, аналогичного возбудителю эпидемии "испанки" 1918-1921 г.г.

Учитывая резко возросшую вероятность возникновения рекомбинантных геномов, возможность повторения эпизодов, подобных "рождению" ВИЧ-инфекции, можно прогнозировать и в будущем.

Вряд ли можно сомневаться в том, что в ближайшей исторической перспективе ЗПЭ в отношении традиционных инфекций повсеместно утратит свою действенность, поскольку современный образ жизни и НТР снижают фактор естественного отбора хозяина. Однако отбор и эволюция возбудителей будут не только продолжаться, но и ускоряться. Патогенные микробы - это тоже составная часть биосферы и антропогенный прессинг, осуществляемый человеком на эту ее компоненту, является составной частью общего процесса формирования экологических связей человека в условиях развитой ноосферы. Вследствие сказанного, представляется вероятным, что в условиях современной цивилизации произойдет окончательная трансформация закона параллельной эволюции хозяина и паразита. Суть ее состоит в том, что естественный отбор, сохраняя свою действенность в отношении популяции паразита, полностью утратит ее в отношении популяции хозяина, адаптация которого к новому варианту возбудителя будет осуществляться на основе действия исключительно социальных факторов (первичная, в том числе общесанитарная профилактика, предохранительные прививки в перспективе использование методов генной инженерии). В этом контексте коэволюция хозяина и паразита будет, по-видимому, продолжаться на протяжении всего обозримого исторического будущего - во всяком случае, применительно к полигостальным возбудителям и возбудителям сапронозов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Беляков В.Д., Голубев Д.Б., Каминский Г.Д., Тец В.В. Саморегуляция паразитарных систем. Медицина, 1987. 236 с.

2 Бухарин О.В., Литвин В.Ю. Патогенные бактерии в природных экосис темах. Екатеринбург. 1997. 273 с.

3 Вавилов Н.И. Учение об иммунитете растений к инфекционным заболеваниям. Избранные произведения в двух томах. Том II. Ленинград. 1967.

4 Румянцев С.Н. Конституциональный иммунитет и его молекулярно-экологические основы. Наука. ЛО. 1983. 212 с.

5 Эфроимсон В.П. Иммуногенетика. М. 1971. 336 с.

ЗАМЕТКИ О НЕКОТОРЫХ ОБЩИХ ПРОБЛЕМАХ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.Л. Кошелев, С.М. Вовк, В.П. Сметанников

I. Создание технологий - следствие эволюции

В исторический период реальных доказательств эволюции человека как биологического вида на сегодняшний день достоверно не обнаружено. В какой-то степени альтернативой ей является относительно стабильная общественная эволюция человечества, приводящая к усложнению как внутренних связей социума, так и его внешних связей с окружающей средой.

В принципе, любая технология в конечном счете преобразует взаимоотношения человека с природой, поэтому эти связи изначально заложены в основе создания новых технологий. Следует оговориться, что понятие "природа" здесь рассматривается в самом широком смысле, то есть включает в себя не только окружающую человека среду, но и самого человека. С другой стороны, эволюция человечества развивает потребности как общества в целом, так и его ячеек и индивидуумов, стимулируя возникновение новых потребностей. Таким образом, хорошо прослеживается система положительных обратных связей:

- общественное развитие формирует новые потребности;
- удовлетворение новых потребностей стимулирует появление новых технологий;
- новые технологии и процесс их создания порождают новые взаимоотношения в обществе и новые взаимоотношения человека и природы;
- новые системы связей внутри социума и связей социума с окружающей средой определяют изменения в уровне познания;
- изменения в уровне познания влекут за собой дальнейший этап эволюционного развития человечества.

В качестве характерных примеров можно сослаться на историю наиболее ярких древнейших цивилизаций, таких, например, как Египет, Финикия и Греция.

Всем им была присуща одна общая черта: очень благоприятные природные условия на сравнительно малом пространстве. Древний Египет - это географически долина Нила и примыкавший к нему Фаюмский оазис, окруженные обширными пустынями. Финикия - узкая полоса восточного побережья Средиземного моря, ограниченная на востоке Ливанским хребтом. Колыбель эллинской цивилизации Крит и материковая Греция - более чем на две трети заняты горами и плоскогорьями. Пригодная для земледелия территория плодородна, но ее немного.

В таких условиях естественный прирост населения достаточно быстро порождал потребности в новых ресурсах. Освоение их возможно было двумя способами: экстенсивным и интенсивным. Первый подразумевал внешнюю экспансию на окружающие земли - мирным либо военным путем. А второй - использование новых, более прогрессивных методов земледелия или изобретения иных способов производства средств к существованию и дальнейшему развитию.

Но оба пути объединяла одна общая потребность: необходимость развития новых технологий. Ко времени возникновения рассматриваемых цивилизаций зона Средиземноморья - особенно ее Европейская и Азиатская части - была довольно густо заселена. Естественно, что внешняя экспансия требовала, как минимум, мощных вооруженных сил. А это подразумевает наряду с хорошо

обученными воинами необходимость наличия совершенного оружия. Создание его стимулировало развитие металлургии, горного дела, кузнечных, слесарных и иных технологий. Другая сторона завоевательной экспансии, характерной для Египта времен Нового царства и Греции 4 - 3 веков до новой эры, это естественный в подобных условиях культурный, научный и технический обмен между народами, что также являлось одной из основных движущих сил общего развития.

Финикия, не обладая военной силой, достаточной для соперничества со своими мощными соседями - тем же Египтом, Ассирией или Персией - избрала для себя иной способ внешней экспансии. Он заключался в колонизации малонаселенных земель, в основном на побережье Африки и юго-западной Европы (подобный путь на протяжении многих веков был характерен и для греков, и потребовалось объединение враждующих между собой греческих полисов под эгидой Македонии, чтобы перейти к завоевательной экспансии). Исследование и последующая колонизация новых территорий требовала интенсивного развития мореплавания, что опять же стимулировало возникновение новых технологий и углубленных научных изысканий. Поэтому корабли древних финикийцев и греков были по тем временам намного совершеннее, чем у египтян или вавилонян, которые колонизацией не занимались.

Интенсивный путь вовлечения новых ресурсов для развития этносов еще с большей очевидностью требовал создания новых технологий. Одна сторона - это увеличение урожайности на прежних площадях обрабатываемых земель и превращение в обрабатываемые земли ранее малопродуктивных или непродуктивных. Естественно, возникали проблемы с новыми сельскохозяйственными орудиями, новыми методами земледелия, селекцией новых культур, ирригацией, транспортом, методами хранения и переработки продукции. Египтяне и шумеры строили мощные и разветвленные оросительные системы, эллины начали осваивать террасное земледелие, в Эламе в середине II тысячелетия до н.э. использовалось капельное орошение, в некоторых местах и по сей день существуют дороги, построенные древними римлянами. Земледельцами было выведено множество высокоурожайных сортов растений, зачастую неузнаваемо отличающихся от своих дикорастущих предков.

Другая сторона - производство промышленных изделий. Причем речь идет не только об орудиях труда, оружии или иных предметах первой необходимости. Возрастающие потребности человека включали в себя уже то, что сейчас принято называть "предметами роскоши". И с ростом производительности в сельском хозяйстве, с одной стороны, и ростом численности населения, с другой, весьма значительное количество людей оказалось занято в промышленном производстве - термин "промышленное", разумеется, понимается применительно к уровню технологического развития того времени. В свою очередь, необходимость сбыта товарного продукта, то есть развитие торговли требовало развития транспорта. Суда и корабли, дороги, сухопутные средства перевозки грузов - все это совершенствовалось в соответствии с возрастающим спросом. Таким образом, создание новых технологий, направленных как на повышение производительности труда, так и на выпуск новых типов изделий, и необходимые научные изыскания были вызваны самим развитием человеческого общества, и, в свою очередь, стимулировали это развитие.

Здесь следует сделать одно важное, на наш взгляд, замечание. Случалось, что результаты научных исследований весьма прилично опережали свое время, то есть не соответствовали общим потребностям общества, и поэтому иногда на многие века отодвигалось их производительное использование. Изобретенный

древними китайцами порох почти полтора тысячелетия служил лишь для праздничных фейерверков, а идея паровой машины, воплощенная в экспериментальный образец Героном Александрийским, ждала своего применения для нужд человека и того дольше.

А как своего рода антипример показательна древнейшая на территории Индии хараппская цивилизация, существовавшая там в середине III - начале II тысячелетия до новой эры. От всех известных мировых культур ее отличал ряд особенностей, до сих пор однозначно не объясненных историками. Планировка и застройка городов - число которых, кстати, было как минимум, не меньше сотни, - типы орудий труда, форма керамики, письменность оставались абсолютно неизменными на протяжении 11 столетий. В городах не воздвигались грандиозные памятники, обелиски, статуи и крупные общественные здания; оборонительная техника и оружие были на удивление слабыми. Да и гибель хараппской цивилизации вызвана была не нашествием варваров или "благородных" завоевателей, а, вероятно, геоморфологическими изменениями около 2000 года до н.э., сопровождавшимися длительными и сильными наводнениями. Были ли причиной подобной статичности цивилизации философские воззрения, религия хараппанцев или отсутствие серьезной угрозы со стороны соседних народов, историкам пока неизвестно. Естественный прирост населения регулировался не интенсивным развитием производительных сил, а колонизационным движением вглубь Индостанского субконтинента. При этом для хараппанской цивилизации существенным оказался один важнейший фактор, коренным образом отличающий условия ее существования от условий, характерных для средиземноморских народов: у хараппанцев практически не было активных и сильных врагов, и в своем продвижении вглубь Индии они не встречали серьезного сопротивления. Таким образом, отсутствие одной из приведенных обратных связей повлекло за собой нарушение всей системы. Естественно, что технологический уровень хараппской цивилизации не смог нивелировать кардинальные изменения природных условий, и на этом история хараппанцев закончилась, несмотря на довольно многочисленное население и обширный ареал обитания.

Сегодня эта система положительных обратных связей достаточно очевидна, особенно в наиболее развитых странах, где определяющее значение начинают играть формирование новых потребностей человека и общества и изменение взаимоотношений человека и природы. Мы создаем новые технологии и продукты, одновременно с помощью массированной рекламной атаки убеждая потенциального потребителя в том, что он нуждается в этих продуктах. При этом побочным эффектом внедрения новых технологий является все более глубокое воздействие на ноосферу, в большинстве случаев негативное. Возникающий дискомфорт требует создания очередных технологий, направленных на устранение последствий действия предыдущих и так далее.

Тривиальное решение проблемы негативных изменений окружающей среды представляется очевидным: закрываем все заводы, фабрики, электростанции и уходим жить в леса и поля, как кроманьонцы. Земля имеет богатый опыт залечивания ран, и лет через 100 или 1000 с экологией все будет в порядке. Если не столкнется с планетой какой-нибудь астероид, который у экологически чистого человечества нечем будет сбить в ближнем космосе.

Однако трудно представить себе подобный вариант. Закон Долло, гласящий о необратимости эволюционного развития, вполне применим и к человеческому обществу.

В этом ракурсе интересен еще один момент. Традиционно общепринятым

считается употребление понятия эволюции к природным объектам (животные, растения, звездные системы, например) или к человеческому обществу, которое во многом, по большому счету, также можно отнести к природным объектам. Однако даже не слишком глубокий исторический анализ развития технических возможностей человечества позволяет сделать вывод о существовании технологической эволюции, то есть эволюции технологий. Безусловно, она теснейшим образом связана с общественной эволюцией. Но при рассмотрении некоторых вопросов технологическую эволюцию в первом приближении можно рассматривать и отдельно. Коротко ее основной закон представляется в следующем виде:

Любые технологии порождают новые технологии, являющиеся более совершенными по отношению к своим предтечам.

На беглый взгляд вышеприведенные утверждения могут показаться спекулятивными, однако для них существуют вполне доказательные основания. Здесь они не приводятся, так как требуют подробного рассмотрения сначала других вопросов, во многом проясняющих движущие силы и специфику технологической эволюции.

II. Источник создания технологий - человечество

Очевидное, казалось бы, утверждение тем не менее содержит более глубокую подоплеку, чем кажется на поверхностный взгляд. Разумная деятельность человечества не в состоянии в настоящее время не только изменять, но вообще хоть как-то влиять на законы природы. Поэтому она направлена на их изучение и применение с максимальной пользой для общества. В принципе, нет ни одного технологического процесса, который в какой-либо степени не был бы повторением процессов чисто природных. Однако без разумного воздействия вероятность объединения законов природы в потребной для человечества совокупности исчезающе мала. И чем выше уровень технологии, тем эта вероятность, как правило, ниже.

Природа может создать в жерлах вулканов любую сталь или сплав, но сделать из нее автомобиль или хотя бы хороший топор вряд ли способна. Около 10 миллионов лет назад природа смогла создать в Габоне ядерный реактор, но маловероятно было ожидать, что использоваться его энергия будет так, чтобы на расстоянии в двести километров горела электрическая лампочка.

Человечество в зависимости от уровня своего развития последовательно использовало различные типы энергии, существующие в природе: механическая, тепловая, электрическая, ядерная. Но следует подчеркнуть два важнейших момента:

Во-первых, использование энергии всегда было и остается целесообразным (здесь неважно, какие именно цели преследуются - благие или нет).

Во-вторых, переход на новый уровень потребляемой энергии всегда соответствовал новым потребностям человечества.

Несколько тысячелетий человеку вполне хватало механической энергии - воды, ветра и т.п. Лишь развитие капитализма потребовало более мощных ее источников, и достаточно быстро были освоены другие типы. То есть очевидно, что именно потребности общественного развития стимулировали развитие науки

и в конечном счете новых технологий. С большой долей вероятности можно утверждать, что новые открытия в естественных науках всегда соответствуют уровню развития общества, даже если и кажутся на первый взгляд случайными. Есть, конечно, некоторое количество исключений - та же паровая машина Герона, например, - но они, как правило, обществом не понимаются и не воспринимаются, коль скоро потребность в них на конкретном этапе исторического развития отсутствует.

Часто на поверхностный взгляд основной движущей силой изысканий ученых в различных областях естествознания представляется "праздное" любопытство, однако эта причина крайне редко приводит к сколько-нибудь серьезным результатам (следует, конечно, оговориться, что "серьезным" в смысле оценки обществом на конкретном уровне развития). В подавляющем же большинстве случаев исследование какого-либо закона природы приводит к относительно быстрому его использованию в прикладных областях, то есть для конкретной пользы человека, даже если сам исследователь поначалу не осознает того. Особенно заметным это стало в XX веке, когда наука - в первую очередь, физика - стала могучей производительной силой. С одной стороны, наука оплодотворяет технику, обогащает ее новыми идеями, открывает новые направления технического прогресса. А техника, со своей стороны, вооружает науку мощными экспериментальными и измерительными средствами, позволяющими решать все более сложные задачи. Новые технологии "индустриализировали" науку, вывели ее из той фазы, когда, по выражению М. Фарадея, от физика требовалось "умение пилить буравчиком и строгать пилой". Между линзами Левенгука и растровым электронным микроскопом разница примерно такая же, как между паровой машиной Уатта и ядерной силовой установкой.

Снова очевидна положительная обратная связь между достижениями науки и созданием новых технологий. Исследования новых законов природы, проникновение вглубь материи в большинстве случаев имеют прикладные эффекты, направленные на удовлетворение потребностей человека и общества, причем не только на удовлетворение "праздного любопытства". А материально это выражается именно в новых технологиях.

Исторический экскурс дает реальные иллюстрации к вполне логичной закономерности, для которой практически не встречается исключений. В общих чертах ее можно сформулировать следующим образом:

Чем выше научный и технический уровень развития общества, тем больше фундаментальных законов природы сознательно объединено в используемых обществом технологиях.

Или формулировка, носящая более частный характер:

Чем выше уровень конкретной технологии, тем больше в ней сознательно объединено фундаментальных законов природы.

На протяжении нескольких тысячелетий человечество осознанно использовало по большей части лишь законы механики. На первый взгляд это утверждение может показаться парадоксальным: ведь общепринято считать, что строгие формулировки этих законов в современном их восприятии даны во времена Галилея и Ньютона. Однако суть многих законов механики и возможности их продуктивного использования прекрасно знали уже древние египтяне и жители Месопотамии. А ученые эллинистического мира делали сознательные попытки

изучения этих законов. Конечно, далеко не все в своих изысканиях обращались к эксперименту - более того, в античные времена и не шло никаких особых дискуссий об отношениях опыта и теории, столь популярных в эпоху позднего Ренессанса, среди современников Ф. Бэкона, Декарта и Галилея. То есть большинство работ мыслителей древности имели спекулятивную сущность, но это и неудивительно: во времена Пифагора, Демокрита и Аристотеля только начинался процесс выделения собственно наук из натурфилософии. В лучшем случае шло обращение к наблюдаемым природным явлениям, а зачастую обходились и без этого (классические примеры: пифагорейцы с их обожествлением чисел или элеаты вроде Парменида и его более известного ученика Зенона Элейского).

Тем не менее результативные попытки экспериментального моделирования действия природных законов с целью их исследования все-таки имели место. Наиболее ярко это проявилось в творчестве величайших ученых античного мира Архимеда и Герона Александрийского. Последнего чаще принято считать инженером, т.к. именно изобретения принесли ему славу. Однако в дошедшем до нас его трактате "Пневматика" Герон, объясняя свои мировоззрения, приводит описание экспериментов по исследованиям в области гидростатики и обоснования существования вакуума: "хотя в природе и нет большого пустого пространства (по своим теоретическим позициям Герон примыкал к Аристотелю), тем не менее совсем маленькие пустые пространства существуют в жидкостях, огне и других телах".

Часть доказательств этих утверждений он берет из повседневных наблюдений (упругость, смешивание различных жидкостей, расширение тел от нагревания), но кроме того описывает и собственные опыты - например, показывающие, что воздух является "телом, состоящим из весьма легких и подвижных частиц". (Кстати, интересно, что Галилей спустя 1700 лет в своем учении о сопротивлении материалов реставрировал воззрения Герона). Вообще необходимо отметить, что экспериментальные исследования и изобретения Герона Александрийского могли бы сделать честь и современному ученому. Ну, а что касается Архимеда, то к результатам, полученным им в изучении законов статики, как говорится, ничего ни добавить, ни убавить. Они были очень проницательными людьми, античные ученые, и не открыли законов, например, теплофизики именно потому, что уровень развития общества и его производительных сил не требовал этого.

Вообще даже беглое ознакомление с дошедшими до нас результатами работ ученых эллинистического мира хорошо иллюстрирует последнее положение.

О некоторых явлениях электростатики и магнетизма сообщал еще живший на рубеже VII - VI веков до н.э. Фалес из Милета, которого история называет родоначальником греческой науки.

Его современник и последователь Анаксимандр сделал совершенно гениальную догадку об эволюционном развитии живых организмов и первичном зарождении жизни в водной среде.

Понятие эфира, вызвавшее столь много дискуссий в конце XIX и начале XX века (да и сейчас еще не всеми физиками и не до конца отвергнутое), было введено учеными пифагорейской школы. Ленин в "Философских тетрадях" писал поэтому поводу: "Итак, тысячи лет *догадка* насчет эфира существует, оставаясь до сих пор *догадкой*. Но уже теперь в 1000 раз больше *подкопов* готово, подводящих к решению вопроса, научному определению эфира".

Классическим примером глубины мысли античных ученых является атомистическое учение Демокрита. Однако кроме этого широко известного факта Демокрит дает еще несколько интереснейших положений, например:

"Из ничего ничего не бывает: ничто из того, что есть, не может быть уничтожено. Всякое изменение есть только соединение и разделение частей. Ничего не существует, кроме атомов и пустого пространства; все же прочее есть мнение".

В философском смысле эти положения, безусловно, считаются основой материалистической концепции. А с точки зрения физики - пусть в довольно примитивном виде - но их смысл вполне может быть интерпретирован как формулировка закона сохранения энергии.

Очень любопытна и космогоническая гипотеза Демокрита. В ее подробности здесь вдаваться нет смысла, но необходимо подчеркнуть два важных момента:

Во-первых, ее основные идеи были повторены и развиты более чем через 2000 лет в ставшей классической даже для школьных учебников модели Канта и Лапласа.

Во-вторых, в космогонической гипотезе Демокрита в неявном виде используются законы динамики вращательного движения и закон всемирного тяготения. Ясных формулировок этих законов автор, конечно, не знал, но судя по всему их суть была для него вполне очевидной. (Кстати, без их понимания он попросту не смог бы создать свою гипотезу).

Законы прямолинейного распространения и отражения света были открыты Евклидом; Птоломей проводил экспериментальные исследования закона преломления; Герон Александрийский сформулировал и доказал принцип распространения световых лучей в геометрической оптике, известный нам как принцип Ферма; наконец, Эпикур и его последователи заложили основы корпускулярной теории света.

Аристотель и в большей степени Витрувий пытались разработать волновую теорию звука.

Из описания природы гроз, сделанном Эпикуром, ясно, что автор знал о конечности скорости звука, а также о различии скоростей света и звука.

Все эти примеры приведены, чтобы еще раз подчеркнуть следующее:

Во-первых, наши далекие предки на заре цивилизации знали и сознательно использовали в своих технологиях довольно много законов физики - в основном механики,- при этом по большей части не имея четких формулировок этих законов.

Во-вторых, уровень технологий определяется уровнем развития потребностей общества и в меньшей степени уровнем развития науки.

Если вернуться к вопросам энергетики, то наивысшим практически используемым достижением древности в этой области были водяное колесо и ветряк. Паровой двигатель, сыгравший революционную роль в период первоначального накопления капитала, объединял в себе уже, помимо законов механики, и законы теплофизики. А получившие примерно с конца XIX века широчайшее распространение электрические системы не отбросили, как ненужную, необходимость использования этих законов, а просто добавили в их совокупность законы электричества. То же самое в полной мере безусловно относится и к ядерной энергетике.

Таким образом, любая технология - это совокупное использование различных физических, химических и иных законов природы. Роль цивилизации сводится к объединению их в одном процессе для удовлетворения своих конкретных потребностей.

III. Движущие силы создания технологий - рынок и окружающая среда

В основе потребности общества в новых технологиях заложен принцип **комфортности**, который в общих чертах можно сформулировать следующим образом:

Эволюционное развитие человека и общества направлено на формирование максимально благоприятных условий для существования.

Необходимо отметить, что данный принцип неявно следует из принципа минимизации энергии (одна из интерпретаций принципа Ле-Шателье), заключающегося в том, что физическая система всегда стремится занять состояние с наименьшей энергией, как наиболее устойчивое.

Реализация принципа комфортности определяется состоянием рынка и окружающей среды. С другой стороны, она является главным стимулом к формированию рынка. И кроме того, воздействуя на связи человека с окружающей средой, очевидно оказывает воздействие и на саму окружающую среду.

Вследствие этого состояние рынка и окружающей среды являются основными движущими силами развития технологий.

Первое утверждение не требует комментариев из-за своей очевидности. Что касается второго, то здесь необходимо учитывать две стороны вопроса.

Во-первых, создание новых технологий требуется для воздействия на окружающую среду с целью выполнения принципа комфортности.

А во-вторых, оно влечет за собой негативные изменения в ноосфере, тем самым делая необходимым существование технологий следующего уровня, направленных на нивелирование этих изменений, т.е. на восстановление исходного состояния окружающей среды. Здесь необходимо сделать еще одно общее замечание: реализация принципа комфортности, верного не только для человека, но и вообще для любого живого организма, предполагает два пути взаимодействия с окружающей средой: приспособление себя к окружающей среде и приспособление окружающей среды к себе. Первый присущ всей живой природе - в том числе, естественно, и человеку,- и осуществляется через принципы естественного отбора. Однако в историческое время его влияние на Homo Sapiens минимально, что по большей части обусловлено реализацией второго пути, характерного практически только для человечества: некоторые творения животных - муравейники, например, или хатки и плотины бобров - относятся, скорее, к первому.

Еще одним важнейшим стимулом для создания новых технологий, безусловно, служат новые достижения фундаментальной науки. Кроме того, некоторые новые технологии оказывают прямое воздействие на потенциальных потребителей, инициируя возникновение новых потребностей и, тем самым, через систему положительных обратных связей стимулируют необходимость развития технологий следующего поколения. Последняя концепция имеет непосредственное отношение к формированию потенциального рынка. Однако однозначно сводить этот фактор только лишь к состоянию рынка было бы неверно, так как воздействие новых продуктов на массового потребителя затрагивает значительно более широкий спектр общественных отношений - в первую очередь общественную психологию.

В качестве характерных примеров можно привести следующие:

1 До изобретения автомобиля потребности в нем у общества практически не было. Более того, эта потребность появилась не с созданием первых автомобилей, а лишь с началом их по-настоящему массового производства - достаточно дешевых, надежных, простых в управлении и обслуживании. А в настоящее время, по свидетельству английского журнала **"New Scientist"**, ***"... почти половина всех ресурсов мира идет на автомобили и поддержание их движения. Половина заработной платы, выплачиваемой в мире, так или иначе связана с автомобилем."*** И это несмотря на крайне неравномерное распределение автомобилей по странам и регионам: например, в 1990 году в США на каждую 1000 жителей приходилось 573 легковых автомобиля, а в Индии - около 2. Автомобиль практически диктует политику на транспорте, да и во многом во всей экономике уже несколько десятилетий. В 1935 году общее количество автомобилей на Земле составляло 36,7 млн. штук, в 1960 году - 122,3 млн., а к началу 90-х годов это цифра достигла 500 млн. При этом потенциал роста в развивающихся странах огромен. Если вся Азия достигнет такого же количества автомобилей на тысячу населения, как сейчас в Японии (а по западным меркам, автомобилизация Японии зашла не особенно далеко - 265 машин на 1000 жителей), то число машин в мире увеличится вдвое. В довершение можно привести еще одну весьма характерную цифру: если (достаточно условно!) принять среднюю мощность автомобиля равной 73,5 кВт (100 лошадиных сил), элементарные подсчеты показывают, что суммарная мощность всего полумиллиарда машин на планете составит 36750 ГВт. Эта величина прилично больше суммарной мощности всех электростанций мира. (Кстати, последняя цифра выглядит весьма пессимистичной с точки зрения прогнозов о переходе на электромобили - по крайней мере, на сегодняшний день.)

2 Приблизительно аналогичная ситуация существует и с технологиями, связанными с химическим синтезом: сегодня настолько же трудно представить себе жизнь без пластиков и синтетических волокон, насколько трудно в начале века было представить саму возможность их использования.

3 Другой достаточно яркий пример - это использование персональных компьютеров. Здесь наиболее интересным моментом является возникновение огромного количества компьютерных игр. ЭВМ, появившиеся вскоре после 2-й мировой войны, в силу основополагающих принципов конструкции, функционирования и эксплуатации были предназначены для общественного (коллективного) использования. Это предполагало очередность в решении задач и серьезные ограничения для работы в диалоговом режиме. Существовали, конечно, в разных странах попытки создания мини-ЭВМ, подразумевающих индивидуальное использование, однако их мощность и быстродействие были относительно невелики. Еще одна особенность ЭВМ первых поколений - монохроматические символьные мониторы. Все это определяло их малую приспособленность для использования в качестве инструмента для игр. Конечно, компьютерные игры создавались и в 60-70 годы (достаточно вспомнить всемирно известный "Tetris"), однако сколько-нибудь заметного значения в обществе они не имели в силу указанных причин.

Положение кардинально изменилось с появлением и широким распространением в мире персональных компьютеров. Быстрое совершенствование процессоров, внешней электроники и сервиса, относительная дешевизна компьютеров сделали их доступными для самого широкого круга

потенциальных потребителей. То есть ситуация здесь оказалась весьма похожей на автомобильный рынок. Более того, возникла целая, если можно так выразиться, индустрия программного обеспечения, в которой значительное место занимает разработка, тиражирование и распространение разнообразнейших игровых программ для компьютеров. Очевидно, что потребностей в компьютерных играх у массового потребителя до самого последнего времени не было. Сейчас они появились, а быстрое развитие специфических программ для удовлетворения спроса, в свою очередь, стимулирует быстрое совершенствование компьютерной техники. (На наш взгляд, представляются маловероятными такие темпы в этой отрасли, если бы персональные компьютеры использовались только в работе - пусть даже и повсеместно, а не только в научных исследованиях.)

4 Наконец, с точки зрения воздействия на психологию массового потребителя, безусловно, пальму первенства держат средства массовых коммуникаций, включающие в себя мощнейшие инструменты формирования общественного сознания - такие, как телевидение, кино, радио, печать и т.д. В основном именно благодаря развитию этих средств вторая половина 20-го века характеризуется возникновением индустриально-коммерческой системы так называемой "массовой культуры".

Потребности в быстром обмене информацией существовали с самого начала возникновения человеческого общества. Со временем развивались, совершенствовались и изменялись как формы, так и способы передачи информации. Устная речь, рисунок, письмо, математическая символика, кодировка электромагнитных сигналов, наконец, машинные языки - формы записи и обработки совершенствовались по принципу: *"наибольшее количество информации в наименьший временной интервал и в наименьшем пространственном объеме, адаптированное к восприятию органами чувств человека."* Для способов передачи информации основным критерием была скорость: пешие гонцы или наездники, голубиная почта, регулярная (этапная) почтовая связь, оптические телеграфы различных типов, электрический телеграф, телефон, радио, телевидение, компьютерные сети. Техническое совершенствование информационных систем является одним из важнейших факторов как общественного производства, так и развития человеческого общества в целом.

Последнее в истории человечества всегда играло важнейшую роль. Не останавливаясь на значении средств массовых коммуникаций в общественном производстве, отметим другое: влияние их на формирование общественных отношений и управление социумом. Необходимость всемерного развития массовых коммуникаций для этого вполне очевидна: основные идеи, которые какому-либо лицу (группе лиц, организации) нужно имплантировать в общественное сознание, должны отвечать следующим критериям:

- Быть понятными массам (или, по крайней мере, массы должны считать, что понимают их) даже в вольном переложении апологетов.
- Быть понятыми массами желаемым для авторов и проводников идей образом.
- Крепко укореняться в общественном сознании для защиты от конкурирующих идей.
- Нести в себе истины, связанные с общечеловеческими ценностями, как наименее критично воспринимаемые социумом.
- Для усиления воздействия - содержать образ врага или что-нибудь его

заменяющее (типа "мировой революции", "американской мечты" либо "русской духовности").

- Содержать в себе легко запоминающиеся реперные слова или фразы.

- Достаточно быстро распространяться в общественном сознании - во-первых, для быстрейшего достижения основных целей авторов, а во-вторых, опять же для нейтрализации конкурирующих идей.

Очевидно, что в выполнении практически всех перечисленных критериев средства массовых коммуникаций играют определяющую роль. В особенности это относится к трем первым и двум последним пунктам.

Исторически методы распространения в обществе новых идей прошли несколько последовательных ступеней. Сначала через апологетов, далее - через печатные издания (имеются в иду книги), через периодику, наконец, через электронные средства.

Первый из отмеченных методов характеризуется весьма малой скоростью распространения и малым охватом масс. Однако длительное время он был достаточно эффективным, т.к. наиболее просто осознаются человеком идеи, исходящие не от "пророка", а от равного ему по разуму и общественному положению. Тем более, что несколько веков или тысячелетий назад соответственно и скорость эволюционного развития общества, и численный состав социумов были относительно невелики. Дальнейший прогресс общества потребовал новых способов доставки информации к потребителю. Однако, как показала практика, печатное слово, сыгравшее, конечно, свою положительную роль, к середине XX века перестало уже удовлетворять потенциальных заказчиков. Причины вполне очевидны: резкий рост численности населения Земли (за неполные сто лет с начала века - впятеро), ускорение развития социальных связей - как внутри отдельных социумов, так и внешние между ними, - повышение среднего уровня образованности общества, и, наконец, самое, пожалуй, важное - лавинообразный рост общего количества доступной для индивидуумов информации. Это поставило проблему выбора конкретных данных из огромных массивов, которую печать решить уже не в состоянии. Кинематограф и радио были мощным скачком вперед в области систем передачи информации. Важнейшие их качества - широкая доступность в сочетании с практическим отсутствием каких-либо требований к образованию потенциальных потребителей - позволили зародиться так называемой "массовой культуре". Однако широчайшего размаха она достигла во второй половине XX века с развитием и широким распространением телевидения, сочетающего лучшие качества кино и радио. Именно телевидение сегодня является наиболее мощным инструментом для проведения информации в человеческие массы. А соответствующий ее подбор и освещение под нужным углом способен довести до социума любые идеи, преследующие любые цели - от формирования рынка прохладительных напитков до ксенофобии.

Еще одно важнейшее качество электронных средств массовых коммуникаций чисто психологическое - человек, с раннего детства получающий информацию от радио и телевидения, становится зависимым от нее и попросту не мыслит своего существования без домашней электроники.

Сейчас распространяется информационная система нового уровня - компьютерные сети, - и, безусловно, за ними будущее, по меньшей мере первая половина следующего века. Основное достоинство их, как ни странно, было присуще более ранним средствам массовых коммуникаций - печатным

непериодическим изданиям, книгам. Речь идет об избирательности получаемой информации. Телевидение в этом смысле существенно отстает из-за чисто технических проблем: трудно представить себе существование отдельной телевизионной программы на каждого жителя Земли и, уж тем более, нескольких десятков программ. Однако роль телевидения ничуть не снижается - напротив, инженерные усовершенствования метода делают его еще более эффективным средством массовой культуры.

Таким образом, формирование потребностей человека и, соответственно, рынка находятся в весьма сложной взаимосвязи, что не может не оказывать существенного влияния на создание новых технологий.

На основании вышеизложенного можно попытаться конкретизировать основные признаки стратегических и наукоемких технологий, общие понятия которых были рассмотрены в публикации в предыдущем сборнике.

а) Под **стратегическими** понимаются технологии, способные оказывать непосредственное влияние на:

1 Направления дальнейшего развития в данной области производства или в смежных областях.

2 Перспективы появления принципиально новых типов производств с соответствующими принципиально новыми технологиями.

3 Перспективы появления принципиально новых потребностей у общества.

4 Общее развитие экономических систем.

5 Глобальные изменения во взаимодействии деятельности человечества с экологическими системами.

6 Перспективы появления принципиально новых типов вооружений, способных решительно сместить равновесие в сторону какого-либо государства или группы государств.).

7 Возможности развития принципиально новых систем массовых коммуникаций.

Например:

стратегические - новые способы получения металлов или других материалов; новые способы получения, обработки и передачи информации; новые источники энергии; новые способы передвижения.

не имеющие стратегического значения: новый тип шоколада; новые способы изготовления мебели и бытовой техники; новый тип одежды.

б) **Наукоемкие** технологии.

В принципе, с самых общих позиций, практически любую вновь разрабатываемую технологию можно считать наукоемкой, так как очевидно, что любая из них требует как использования определенных научных достижений, так и известного напряжения ума человеческого. Однако такого рода определение не может считаться хоть сколько-нибудь удовлетворительным из-за чрезмерной всеобъемлемости. Поэтому необходимо задать некоторые ограниченные критерии, по которым можно было бы как сформулировать само понятие “наукоемкая технология”, так и оценивать конкретные технологии.

1 Критерий фундаментальности: наукоемкая технология - это та, при

разработке которой используются достижения **фундаментальной** науки.

2 Критерий новизны: наукоемкая технология - это та, при разработке которой используются самые **последние** достижения науки (пусть даже прикладной).

3 Критерий конверсионности: наукоемкая технология - это та, при разработке которой используются достижения фундаментальной или прикладной науки, ранее использованные **только в военной технике** и отвечающие критериям 1 или 2.

4 Критерий времени: наукоемкая технология - это та, на разработку которой затрачивается определенное рабочее время научных работников - как на эксперименты, так и на научное обобщение полученных данных для создания новой технологии (скажем, для определенности - не менее 1000 чел./смен ученых.).

5 Критерий недостаточности: наукоемкая технология - это та, для разработки которой в конкретный момент времени недостаточно знаний о природе, и требуются дополнительные научные исследования.

Заключение

Рассмотрена зависимость создания и совершенствования новых технологий от эволюционного развития общества. Выявлена и проиллюстрирована на примерах древнейших цивилизаций система положительных обратных связей для этой зависимости. Предложена концепция существования технологической эволюции и сформулирован ее основной закон. Показано, что источником технологий является разумная деятельность человека. Определены зависимости уровня развития общества и сознательного использования фундаментальных законов природы в технологиях. На примерах открытий ученых эллинистического мира продемонстрирована зависимость появления новых технологий от уровня потребностей общества. Рассмотрено влияние на создание новых технологий состояния рынка и окружающей среды. Сформулирован основополагающий для потребности общества в новых технологиях принцип комфортности. На примерах некоторых современных технологических систем показана взаимосвязь новых технологий, общественной психологии в части появления новых потребностей и формирования рынка. Конкретизированы основные признаки наукоемких и стратегических технологий.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ПО ОСНОВНЫМ КОМПОНЕНТАМ ОЗЕР НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА В ПРЕДЕЛАХ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В.Трапезников, П.И.Юшков, В.Н.Николкин,
В.Н.Трапезникова, М.Я.Чеботина, А.А.Екидин

В результате аварии 1957 г. на П/О "Маяк" сформировался Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС) на территории Челябинской, Свердловской и Тюменской областей. Радиоактивному загрязнению подверглись различные природные объекты, в том числе и озера. В северо-восточной части ВУРСа вблизи г. Каменска-Уральского (Свердловская область) оказалась группа озер Тыгиш, Червяное и Большой Сунгуль.

Общее количество радионуклидов, выброшенных во время взрыва емкости с радиоактивными отходами, составило около 74 ПБк. В момент взрыва в 1957 г. наибольшую долю в смеси осколков в выброшенном материале составили $^{144}Ce+^{144}Pr$ – 66,28% (с периодами полураспада 284,5 дня и 17,5 мин. соответственно), $^{96}Zr+^{95}Nb$ – 25,1% (с периодами полураспада 65 и 35 дней) и $^{90}Sr+^{90}Y$ – 7% (с периодами полураспада 29,1 года и 2,67 дня). В течение последующих 8 лет коротко- и среднеживущие радионуклиды распались. Первые радиоэкологические исследования территории ВУРС'а, включая некоторые из расположенных на ней водоемов, были проведены спустя 3 года после аварии. В Свердловской области таким водоемом оказалось оз. Тыгиш в Каменском районе. Запасы ^{90}Sr в воде, иле и биомассе в нем составили соответственно 2,2 Ки, 20,0 Ки и 0,27 Ки (77,7 ГБк, 790,0 ГБк и 10,0 ГБк) ("Итоги изучения...", 1990). В 1976 г. оз. Тыгиш вновь подверглось обследованию (Пискунов и др., 1995), а относительно радиоэкологической обстановки на других озерах этого участка ВУРСа краткие сведения в литературе появились лишь в 1994 г. (Большаков и др., 1994).

В послеаварийный период радиационная обстановка на озерах изменялась под влиянием ряда факторов, из которых следует отметить сток с территории водосбора, естественный радиоактивный распад поступивших в водоем радионуклидов, перераспределение последних между основными компонентами водоемов, поступление радионуклидов вследствие ветрового подъема и переноса ила с берегов оз. Карачай в 1967 году, а также воздушный перенос радиоактивных веществ из зоны аварии на Чернобыльской АЭС 1986 г.. В 1993 году Отделом континентальной радиоэкологии Института экологии растений и животных УрО РАН было проведено изучение сложившейся радиоэкологической ситуации на озерах Тыгиш, Червяное и Б.Сунгуль, материалы которого приведены ниже.

В настоящей статье представлены данные об уровнях содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в основных компонентах этих водоемов (вода, донные отложения, биота), результаты исследования их вертикального и площадного распределения в донных отложениях. Впервые дается ретроспективная, текущая и прогностическая оценки запасов радионуклидов в обследованных озерах. Показаны закономерности изменения во времени содержания радионуклидов в воде и донных отложениях водоемов, а также приведены сведения о концентрации в воде трития.

Объекты и методы исследования

Исследованные озера расположены в Каменском районе Свердловской области в зоне зауральской лесостепи на расстоянии 105-110 км от места аварии 1957 г. на центральной оси ВУРСа. (рис.1). Они представляют собой мелководные непроточные водоемы, образовавшиеся в чашеобразных котловинах с равномерно понижающимся дном. Оз. Тыгиш является пресным водоемом округлой формы. Сухой остаток воды - 450 мг/л (Черняева, 1977). Озеро имеет площадь 6,7 км^2 при средней и максимальной глубинах 2,0 и 3,5 м соответственно, объем водной массы 13,4·10^9 л. Площадь водосбора оз. Тыгиш равна 20,1 км^2. Озера Червяное и Б. Сунгуль имеют вытянутую форму, являются солеными. Сухой остаток воды в оз. Червяном – 2,8 г/л, в оз. Б. Сунгуле – 2,0 г/л. Площадь акватории оз. Червяного составляет 5,64 км^2 при средней глубине 2,5 м (максимальная глубина 4 м), объем водной массы 18,5·10^9 л, площадь водосбора 16,5 км^2. Оз. Большой Сунгуль площадью 10,02 км^2 имеет среднюю глубину 3 м при наибольшей глубине 6 м, объем водной массы 27·10^9 л и площадь водосбора 33,0 км^2 (Галактионов, 1990; "Итоги изучения...", 1990). Водоемы находятся в зоне влияния дымо-газовых выбросов промышленных предприятий г. Каменска-Уральского. Вскоре после аварии 1957 года жители сел Тыгиш и Четыркино, расположенных соответственно на берегах озер Тыгиш и Б. Сунгуль, были отселены, поселения ликвидированы, прибрежная территория суши подвергнута дезактивации. В настоящее время в 100 м к западу от берега оз. Тыгиш находится земельный участок с сеяными травами, полив которого производится озерной водой. Вдоль южного берега оз. Б. Сунгуль расположены д. Богатенково и с. Рыбниково.

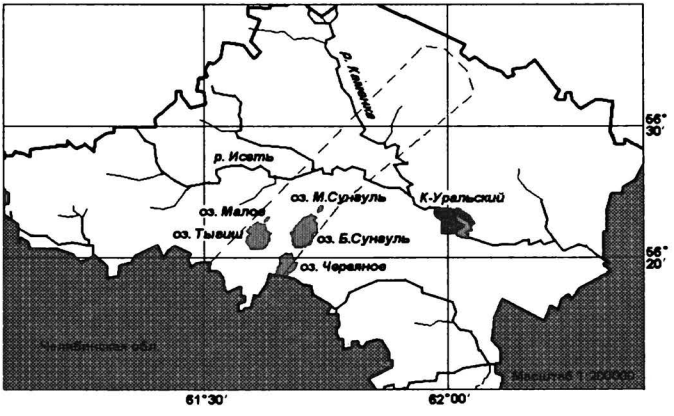


Рис.1 Схема расположения исследованных озер на территории Каменского района Свердловской области.

Детальная характеристика донных отложений указанных выше озер получена П.В.Окуневым ("Радиоэкологическое исследование...", 1991). На большей части оз. Тыгиш донные отложения, толща которых достигает 5,4 м, представляют собой известковистые среднезольные сапропели (зольность 52-54%). При этом группа зольных элементов, в которую входят оксиды железа, алюминия и фосфора, составляет 0,37 – 1,27%. На долю оксида фосфора приходится от 0,10 до 0,16%. Кальциево-магнезиальный скелет сапропеля оз. Тыгиш составляет от 3,62 до 4,34% на нативный ил или 34-49% от его твердой фазы, а общее содержание коллоидов - 2,45-5,16 и 32-40% соответственно. В твердую фазу сапропелей входит до 28-31% органического вещества. Влажность сапропелей озера с глубиной изменяется от 92 до 87%. Донные отложения оз. Червяного имеют глубину до 5,5 м, образованы известковым сапропелем в верхнем слое залежи, глинистыми сапропелями – в нижнем ее слое. Они относятся к высокозольным сапропелям (зольность 11,28-18,09% на нативный сапропель). Группа зольных элементов, в которую входят оксиды железа, алюминия и фосфора, составляют 3,0-5,2% (здесь и далее в расчете на нативный сапропель), при этом на долю оксида фосфора приходится 0,04-0,05%. Кальциево-магнезиальный скелет сапропеля из оз. Червяного составляет от 6,02% в верхних слоях до 1,74 % в нижних слоях или 32,2 -7,7% соответственно от его твердой фазы. Общее содержание коллоидов возрастает с глубиной от 8,5 до 10,4% в расчете на нативный сапропель или 40-46% от его твердой фазы. В твердую фазу сапропелей входит до 18-28% органического вещества. Влажность сапропеля с глубиной снижается с 81 до 77%. Грунты оз. Б. Сунгуль представлены илистыми, илисто-глинистыми и илисто-песчаными отложениями толщиной 40-100 см. Территория водосборов озер расположена в основном на 5-15 м выше уровня воды в них.

Радиоэкологическая характеристика водосборов обследованных озер приведена в ряде работ (Aarkrog et al., 1992; Karavaeva et al., 1994; Фирсова, и др., 1996).

Пробы воды для определения в ней трития отбирали по 1 л в трех повторностях. Отфильтрованную через ватный фильтр воду дистиллировали, затем обогащали по тритию методом одноступенчатого электролиза (Чиркова, 1974). Радиометрию проб проводили методом жидкостной сцинтилляции на установке "Дельта-300".

Растения, отмытые от загрязнений, отбирали по 3-5 кг сырой массы в трех повторностях из разных участков акватории, пробы взвешивали, высушивали до воздушно-сухого состояния и озоляли в муфельной печи при 450 °С. Рыбу отлавливали сетями в летне-осенний период и готовили пробы весом 3-5 кг сырой массы в трех повторностях. Тушки рыб без внутренностей высушивали, затем озоляли при 450 °С.

Донные отложения отбирали летом и зимой (со льда) в 20 точках на оз. Тыгиш, в 9 точках на оз. Червяное, в 17 точках на оз. Б. Сунгуль, относительно равномерно распределенных по площади озер. Места отбора проб показаны на рис. 2-4. Отбор проб проводили послойно с помощью пробоотборника конструкции В.Н.Алексашенко, позволяющего отбирать образцы сапропеля с заданной глубины, избегая заноса материала из других слоев грунта. При этом до глубины 20 см сапропель отбирали через каждые 5 см, в слое 20-100см – через 20 см и в слое 100- 350 см – через 50 см. После высушивания пробы донных отложений растирали и просеивали через сито с диаметром ячеек 1 мм.

Содержание ^{90}Sr в полученных образцах определяли радиохимическим методом по дочернему ^{90}Y, радиометрию которого проводили на малофоновой

установке УМФ-1500 с торцовым счетчиком СБТ-13 при ошибке счета не более 15%. Концентрацию ^{137}Cs определяли на многоканальных анализаторах АМ-А-02-Ф1 с детекторами NaI(Tl) типа "Лимон" с размером кристалла 150 мм х 100 мм.

Результаты и их обсуждение

Следует отметить, что в течение более трех десятков лет разными исследователями фактически был проведен мониторинг радиоактивного загрязнения воды озер Тыгиш, Червяное и Б. Сунгуль. Используя имеющиеся собственные и литературные данные по результатам радиометрического и гамма-спектрометрического анализов воды, полученные в период с 1960 по 1996 год ("Комплексная экологическая оценка...", 1993; "Восточно-Уральский радиоактивный след", 1996), нами были построены математические модели, описывающие изменение концентрации и запасов радионуклидов в воде всех трех озер.

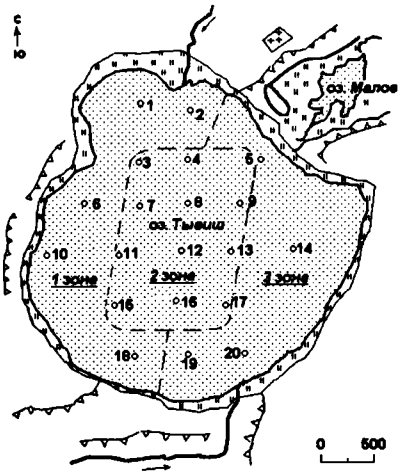


Рис. 2 Схема отбора проб донных отложений на озере Тыгиш

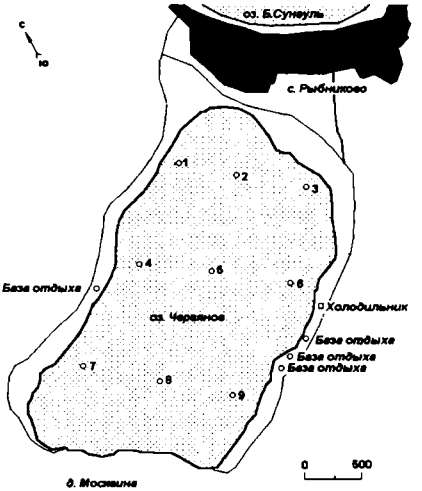


Рис. 3 Схема отбора проб донных отложений на озере Червяное

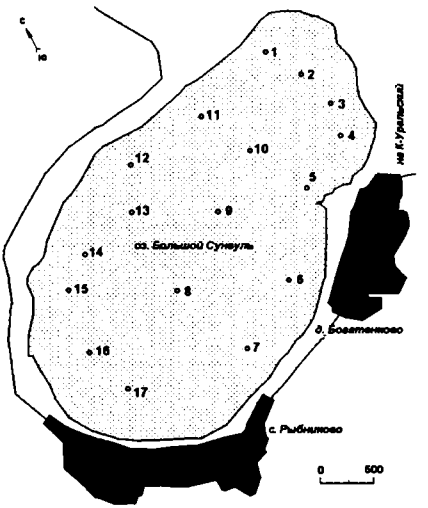


Рис. 4 Схема отбора проб донных отложений
на озере Большой Сунгуль

Мы предположили, что после первичного загрязнения водоема до концентрации C_0, концентрационные зависимости от времени в процессе естественного распада радионуклидов

$$C_t = C_0 \cdot e^{-\lambda t} = C_0 \cdot e^{-Ln\,2 \cdot t/\tau_{1/2}}, \qquad (1)$$

в первом приближении, возможно, также будут представлены убывающими экспоненциальными зависимостями типа:

$$C_t = C_0 \cdot e^{-k\,t}, \qquad (2)$$

$$Q_t = C_t \cdot V = C_0 \cdot V \cdot e^{-k\,t} = Q_0 \cdot e^{-kt}, \qquad (3)$$

что в действительности и оказалось при анализе концентрационной динамики.

В приведенных уравнениях:

t – время, прошедшее после аварии (здесь и далее во всех уравнениях выраженное в годах);

C_t и Q_t – соответственно концентрация и запасы радионуклида в момент времени t;

V - объем воды в водоеме;

C_0 и Q_0 – значения начальной концентрации и общего первичного поступления радионуклида в год аварии (t=0);

λ - постоянная распада, связанная с периодом полураспада радионуклида $\tau_{1/2}$ соотношением $\lambda = Ln\,2 / \tau_{1/2}$,

k – параметрическая константа, определяющая динамику процесса изменения концентрации во времени (декремент спада).

При интерпретации концентрационных зависимостей ожидалось, что вследствие перехода радионуклидов из воды в донные отложения, константа k должна превышать постоянную распада λ, характеризуя более крутой спад концентрационной кривой для воды, чем это происходит при естественном радиоактивном распаде. Мы предположили, что вынос радионуклидов из водоемов отсутствовал (или, по крайней мере, был незначителен), и определили запасы в донных отложениях как разницу между запасами, рассчитанными по ожидаемой концентрации (с учетом естественного распада), и запасами, рассчитанными по концентрации в текущий момент времени:

$$Q_{ДО} = Q_0 \cdot e^{-\lambda t} - Q_0 \cdot e^{-k\,t} = C_0 \cdot V \cdot (e^{-t\lambda} - e^{-kt}), \qquad (4)$$

На основе экспериментальных данных для всех рассматриваемых водоемов были построены концентрационные кинетические кривые и получены для них регрессионные уравнения типа (2). Экстраполяцией указанных зависимостей на момент аварии (t=0) определены значения начальных концентраций радионуклидов C_0 при первичном загрязнении, формально равные

коэффициенту перед экспонентой. Начальные поступления Q_0 были получены умножением C_0 на объем воды в водоеме. С учетом найденных значений C_0 и Q_0 проведены дальнейшие расчеты ожидаемых концентраций и запасов радионуклидов при естественном распаде (по уравнению 1) и их текущих значений (по уравнению 2) для выбранных временных точек t. По разнице этих значений определены их запасы в донных отложениях $Q_{до}$ (по формуле 4).

Модель позволяет выполнить перспективные прогнозные расчеты для любого момента времени в обозримом будущем, что особенно важно при планировании мероприятий по реабилитации озер. Мы ограничились рассмотрением столетнего интервала, начиная с момента аварии, полагая, что интерполяционная ошибка при этом будет относительно небольшой.

При выполнении расчетов по описанной выше модели мы допустили возможность вторичного загрязнения водоемов, по крайней мере, с территории водосбора. Естественно, что при таком дополнительном поступлении радионуклидов, вклад которых не учтен начальной концентрацией C_0, полученная оценка запасов могла оказаться несколько заниженной.

Нами сделана оценка запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs, основанная на результатах измерений концентрации этих радионуклидов в пробах донных грунтов и выполненная с использованием математического моделирования вертикального распределения радионуклидов в донных отложениях. Мы получили функции изменения концентрации радионуклидов по глубине донных отложений в виде убывающих экспоненциальных регрессионных уравнений:

$$C_x = b \cdot e^{-ax}, \qquad (5)$$

где x – вертикальная координата;

C_x – концентрация радионуклида на глубине x;

a и b – параметрические константы, первая из которых определяет декремент убывания функции вертикального распределения с глубиной, а вторая формально равна поверхностной концентрации радионуклида (т.к. при $x = 0$ $C_x = b$).

Проводя интегрирование этих функций в диапазоне от 0 до максимальной глубины h_{max} и учитывая площадь дна озера S, мы получили запасы нуклида в толще донных отложений, соответствующей данному интервалу интегрирования:

$$Q = S \cdot \int_0^{h_{max}} b \cdot e^{-ax}\, dx$$

В ряде случаев вертикальное распределение радионуклидов лучше описывалось двумя независимыми экспоненциальными уравнениями – отдельными для верхнего и для нижнего участков вертикального профиля. При этом запасы определялись отдельным интегрированием на каждом вертикальном участке и последующим их суммированием:

$$Q = S \cdot \left(\int_0^{h_1} b_1 \cdot e^{-a_1 x} dx + \int_{h_1}^{h_{max}} b_2 \cdot e^{-a_2 x} dx \right), \qquad (7)$$

где h_1 – условная граница раздела вертикального профиля на два участка, определяемая графическим анализом экспериментальных данных.

Из двух полученных оценок запасов нуклидов в донных отложениях - по пробам воды (формула 4) и пробам донных отложений (формулы 6,7), последняя принята нами в качестве основной, поскольку, как уже отмечалось выше, оценка по пробам воды сопряжена с возможным недоучетом вклада дополнительных поступлений после аварии. Кроме того, при определении концентрации нуклидов в воде осуществлялась фильтрация водных проб, вследствие чего некоторая часть радионуклидов, находящихся во взвешенном состоянии и в биоте, была исключена из анализа.

Суммируя запасы по пробам донных отложений, оцененные по формулам 6 и 7, с запасами в воде, найденными ранее по формуле 3, мы рассчитали для всех рассматриваемых озер общее содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде и донных отложениях, относящееся к 1993 году:

$$\Sigma Q_{1993} = (Q_{вод} + Q_{ДО})_{1993}, \qquad (8)$$

где $Q_{вод}$ и $Q_{ДО}$ - соответственно запасы в воде и донных отложениях, подстрочный индекс «$_{1993}$ »указывает на реперную календарную точку («привязка» к 1993 году).

Далее, для выбранных моментов времени t в интервале от 0 до 100 лет после аварии, проведены расчеты суммарных текущих запасов с учетом естественного распада:

$$\Sigma Q_t = \Sigma Q_{1993} \cdot e^{-Ln\,2 \cdot (t-36)/T_{1/2}}, \qquad (9)$$

Начальные поступления рассчитаны, полагая в формуле (9) t=0.

Озеро Тыгиш. Исследования, проведенные в 1993 году, показали, что сухой остаток воды равен 368 мг/л. Концентрация ^{3}H, ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде оз. Тыгиш составляла 12,3 Бк/л, 0,6 Бк/л и 0,01 Бк /л соответственно. Концентрация ^{90}Sr в воде оз. Тыгиш почти в 6 раз выше, чем в воде оз. Щучье, расположенном вне территории ВУРС'а в 30 км к северо-западу от первого водоема, а содержание ^{137}Cs в воде обоих озер оказалось одинаковым (Большаков и др., 1994). Концентрация трития в воде оз. Тыгиш (12,3±3,0 Бк/л) близка к таковой в оз. Щучье (17,4±1,1 Бк/л).

Концентрация радионуклидов в воде оз. Тыгиш (рис.5) описывается следующими регрессионными уравнениями:

$$^{90}Sr(Бк/л) = 12,66 \cdot e^{-0,077\,t} \qquad R^2 = 0,86 \quad (10)$$

$$^{137}Cs\ (Бк/л) = 0,55 \cdot e^{-0,076\,t} \qquad R^2 = 0,57, \quad (11)$$

где R^2 – коэффициент дискриминации.

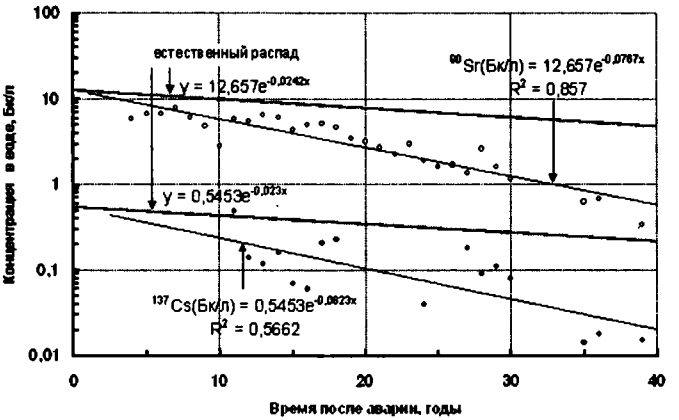


Рис.5 Изменение концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде озера Тыгиш (1957-1997 гг.)

Используя эти уравнения, мы определили запасы радионуклидов в воде и донных отложениях в различные сроки после аварии (табл.1). Ретроспективный расчет показал, что в год аварии (t=0) концентрация ^{90}Sr в воде озера составляла 12,7 Бк/л, а ^{137}Cs – 0,55 Бк/л. Это соответствует первичному поступлению нуклидов в 1957 году 169,6 ГБк ^{90}Sr и 7,3 ГБк ^{137}Cs. В соответствии с рассматриваемой моделью, в 1993 году в воде озера находилось 10,7 ГБк ^{90}Sr и 0,38 ГБк ^{137}Cs, а в донных отложениях - 60,2 ГБк ^{90}Sr и 2,8 ГБк ^{137}Cs (табл.1).

Отметим, что сведения о содержании этих радионуклидов в воде озера в год аварии получены впервые, в ранее опубликованной сводке ("Итоги изучения...", 1990) они отсутствуют. В упомянутой работе сведения о ^{137}Cs вообще не приведены.

Из данных табл.1 видно, что за 36 лет, прошедших со времени аварии, концентрация и запасы ^{90}Sr в воде оз. Тыгиш фактически уменьшились в 15,8 раз, тогда как снижение этих показателей за счет естественного радиоактивного распада должно было произойти только в 2,4 раза. Аналогичная картина наблюдается и по изменению содержания ^{137}Cs: к 1993 году его концентрация и запасы в воде уменьшились в 16,3 раза, а вследствие естественного радиоактивного распада снижение ожидалось лишь в 2,3 раза. Очевидно, что уменьшение содержания радионуклидов в воде произошло в основном за счет их перехода из водной массы в другие компоненты водоема и, главным образом, в донные отложения.

Для изучения вертикального и пространственного распределения радионуклидов, а также для оценки их запасов в донных отложениях был произведен послойный отбор проб. Толща сапропелей, из которой отобрали пробы в прибрежных северной и северо-западной, а также в центральной зонах акватории озера (I и II зоны на рис. 2) достигает 3-3,5 м. С большей глубины из-за высокой плотности грунта отобрать пробы не удалось.

В юго-западной части озера, где слой донных отложений меньше, имеются большие участки дна, выстеленные щебнем и мелкой галькой. Результаты измерений концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях озера Тыгиш представлены в таблице 2.

Таблица 1

Расчет запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде и донных отложениях озера Тыгиш

Год	1957	1967	1977	1987	1993	1997	2007	2017	2037	2057
Время после аварии, лет	0	10	20	30	36	40	50	60	80	100
Расчетная концентрация ^{90}Sr в воде с учетом радиоактивного распада, Бк/л. Расчет по формуле (1)	12,7	9,9	7,8	6,1	5,3	4,8	3,8	3,0	1,8	1,1
Запасы ^{90}Sr в воде с учетом радиоактивного распада, ГБк	169,6	133,1	104,5	82,0	70,9	64,3	50,5	39,6	24,4	15,0
Расчетная концентрация ^{90}Sr в воде по уравнению регрессии (10)	12,7	5,9	2,7	1,3	0,8	0,6	0,3	0,13	0,03	0,006
Запасы ^{90}Sr в воде, рассчитанные по уравнению регрессии, ГБк	169,6	78,8	36,6	17,0	10,7	7,9	3,7	1,7	0,4	0,1
Запасы ^{90}Sr в донных отложениях, ГБк	0,0	54,3	67,9	65,0	60,2	56,4	46,8	37,9	24,0	15,0
Расчетная концентрация ^{137}Cs в воде с учетом радиоактивного распада, Бк/л. Расчет по формуле (1)	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Запасы ^{137}Cs в воде с учетом радиоактивного распада, ГБк	7,3	5,8	4,6	3,7	3,2	2,9	2,3	1,8	1,2	0,7
Расчетная концентрация в воде, Бк/л, по уравнению регрессии (11)	0,6	0,2	0,11	0,05	0,03	0,02	0,01	0,006	0,0008	0,0001
Запасы ^{137}Cs в воде, рассчитанные по уравнению регрессии, ГБк	7,3	3,2	1,4	0,6	0,4	0,3	0,12	0,05	0,010	0,002
Запасы ^{137}Cs в донных отложениях, ГБк	0,0	2,6	3,2	3,1	2,8	2,6	2,2	1,8	1,2	0,7
Отношение концентраций $^{90}Sr/^{137}Cs$ в воде, рассчитанных с учетом радиоактивного распада	23,2	22,9	22,6	22,4	22,2	22,1	21,8	21,5	21,0	20,5
Отношение концентраций $^{90}Sr/^{137}Cs$ в воде, рассчитанных по уравнениям регрессии	23,2	24,6	26,0	27,5	28,4	29,0	30,7	32,5	36,3	40,6
Отношение концентраций $^{90}Sr/^{137}Cs$ в донных отложениях		20,9	21,2	21,3	21,4	21,4	21,3	21,2	20,9	20,4

Таблица 2

Вертикальное распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях озера Тыгиш, Бк/кг воздушно-сухой массы (1993 г.)

Слой, см	^{90}Sr			^{137}Cs			$^{90}Sr/^{137}Cs$		
	1 зона	2 зона	3 зона	1 зона	2 зона	3 зона	1 зона	2 зона	3 зона
0-5	189 ±50	369 ±65	189 ±58	38 ±14	137 ±48	49 ±28	5,0	2,7	3,9
5-10	115 ±59	304 ±63	104 ±25	14 ±5	81 ±13	29 ±7	8,2	3,8	3,6
10-15	142 ±80	365 ±127	64 ±18	21 ±7	51 ±25	26 ±10	6,8	7,2	2,5
15-20	198 ±114	245 ±52	29 ±4	12 ±3	38 ±20	17 ±4	16,5	6,5	1,7
20-40	41 ±14	113 ±35	27 ±2	16 ±5	12 ±5	14 ±5	2,6	9,4	1,9
40-60	33 ±16	74 ±22	43 ±21	13 ±4	11 ±5	13 ±3	2,5	6,7	3,3
60-80	34 ±15	43 ±10	26 ±12	16 ±5	15 ±5	7 ±0,6	2,1	2,9	3,7
80-100	19 ±10	59 ±14	10 ±5	12 ±5	13 ±6	3 ±1	1,6	4,5	3,3
100-150	17 ±1	72 ±18		6 ±1	9 ±2		2,8	8,0	
150-200	14 ±5	70 ±15		7 ±2	7 ±2		2,0	10,0	
200-250	11 ±4	50 ±12		6 ±0,5	5 ±1		1,8	10,0	
250-300	12 ±10	59 ±20		3 ±1	4 ±1,7		4,0	14,8	
300-350	4 ±0,8	20 ±2		1 ±0,4			4,0		

Донные отложения в разных частях озера различаются уровнями радиоактивного загрязнения, при этом наиболее высокие концентрации радионуклидов наблюдались в верхних слоях. Из табл.2 видно, что концентрация ^{90}Sr в зоне I в слое 20 см находится в пределах 115 – 189 Бк/кг, в зоне II - в пределах 245 – 360 Бк/кг воздушно-сухой массы. В этих зонах озера концентрация ^{90}Sr в слое 0-20 см в среднем в 5 раз выше, чем в слое 20-100 см. В слое 100-350 см содержание радионуклида в сапропеле в среднем снижается в 1,5 раза по сравнению с предыдущим слоем 20-100 см. В зоне III высокое содержание радионуклида (104-189 Бк/кг) отмечено только в слое 0-10 см, в слое 10-20 см оно снижается до 12-64 Бк/кг. Это, видимо, отражает особенности формирования донных отложений в данной части озера, о чем свидетельствует также и относительно небольшая мощность сапропеля.

Концентрация ^{137}Cs в донных отложениях (табл. 2) в среднем в 3,7 – 6,1 раза ниже концентрации ^{90}Sr. В слое 0-15 см средняя концентрация ^{137}Cs находится в пределах 14-38 Бк/кг в зоне I и 26-49 Бк/кг в зоне III. В центральной части озера (зона II) концентрация данного радионуклида колеблется в пределах от 51 до 137 Бк/кг. С глубиной концентрация ^{137}Cs снижается и в нижнем слое толщи сапропеля в некоторых точках отбора проб она ниже предела обнаружения.

Вертикальное распределение радионуклидов в донных отложениях в различных зонах водоема удовлетворительно описывается двумя экспоненциальными зависимостями, каждая из которых соответствует различным по глубине частям профиля (рис. 6, 7).

Для ^{90}Sr эти зависимости представлены следующим набором регрессионных уравнений:

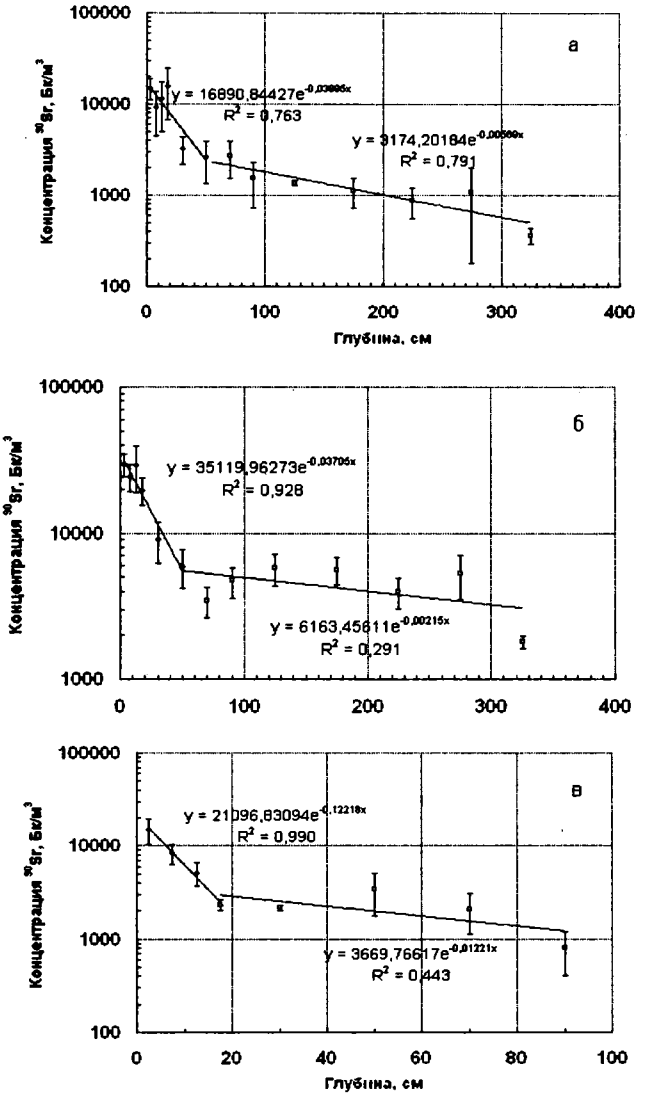


Рис.6 Вертикальное распределение ^{90}Sr в донных отложениях озера Тыгиш (а- 1 зона, б- 2 зона, в - 3 зона)

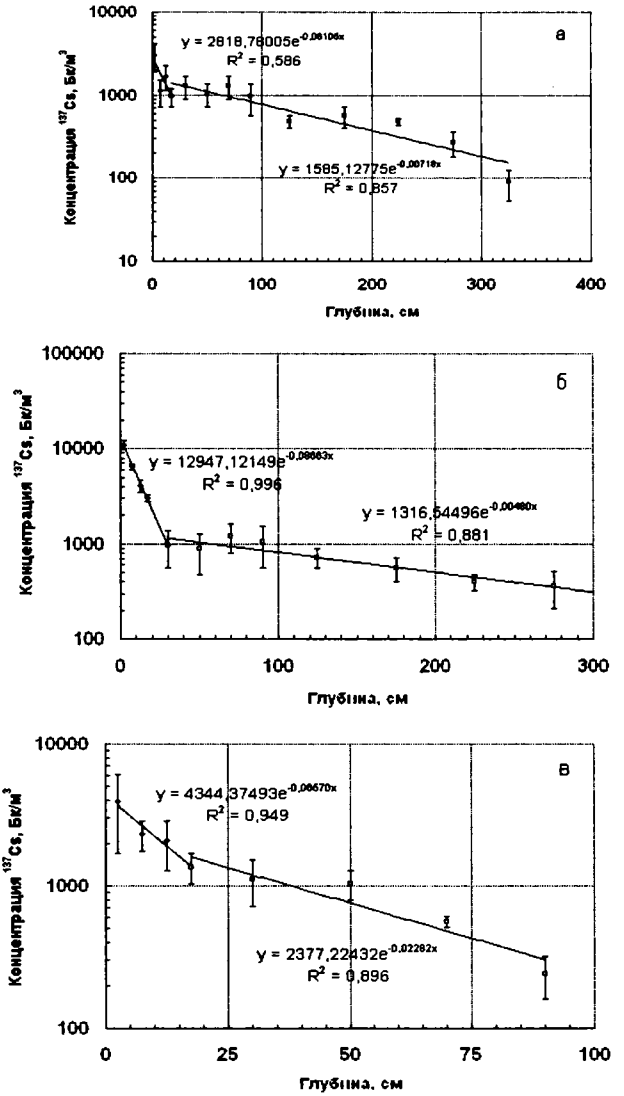


Рис. 7 Вертикальное распределение ^{137}Cs в донных отложениях озера Тыгиш
(а- 1 зона, б- 2 зона, в - 3 зона)

для 1 зоны:

$y_в = 16890{,}8 \cdot e^{-3{,}90 \cdot x}$, $R^2 = 0{,}763$ (12)

$y_н = 3174{,}2 \cdot e^{-0{,}57 \cdot x}$, $R^2 = 0{,}791$ (13)

для 2 зоны:

$y_в = 35119{,}96 \cdot e^{-3{,}705 \cdot x}$, $R^2 = 0{,}928$ (14)

$y_н = 6163{,}46 \cdot e^{-2{,}15 \cdot x}$, $R^2 = 0{,}291$ (15)

для 3 зоны:

$y_в = 21096{,}83 \cdot e^{-12{,}218 \cdot x}$, $R^2 = 0{,}99$ (16)

$y_н = 3669{,}77 \cdot e^{-0{,}122 \cdot x}$, $R^2 = 0{,}443$ (17)

Соответствующие уравнения для вертикального распределения ^{137}Cs имеют вид:

для 1 зоны:

$y_в = 2818{,}78 \cdot e^{-6{,}105 \cdot x}$, $R^2 = 0{,}586$ (18)

$y_н = 1585{,}13 \cdot e^{-0{,}78 \cdot x}$, $R^2 = 0{,}763$ (19)

для 2 зоны:

$y_в = 12947{,}12 \cdot e^{-8{,}66 \cdot x}$, $R^2 = 0{,}996$ (20)

$y_н = 16890{,}8 \cdot e^{-3{,}9 \cdot x}$, $R^2 = 0{,}763$ (21)

для 3 зоны:

$y_в = 4344{,}37 \cdot e^{-6{,}57 \cdot x}$, $R^2 = 0{,}949$ (22)

$y_н = 2377{,}22 \cdot e^{-2{,}28 \cdot x}$, $R^2 = 0{,}763$ (23)

В приведенных уравнениях вертикальная координата x выражена в метрах, концентрация нуклида y – в Бк/м^3, а индексы *в* и *н* указывают на верхний и нижний участки вертикального профиля.

Анализ показал, что представленные уравнения более адекватно, чем одноэкспонентная модель, отражают характер вертикального распределения обоих радионуклидов в сапропелевых отложениях оз. Тыгиш.

Расчеты запасов ^{90}Sr в донных отложениях оз. Тыгиш с использованием математического моделирования дали следующие результаты:

$$Q_1 = 2.232\cdot10^6\cdot\left(\int_0^{0.25} 16890.84427\cdot e^{-3.895\,x}dx + \int_{0.25}^{3.5} 3174.202\cdot e^{-0.589\,x}dx\right) = 1.512\cdot10^{10}$$ Бк=15,1 ГБк

$$Q_2 = 2.232\cdot10^6\cdot\left(\int_0^{0.25} 35119.96\cdot e^{-3.705\,x}dx + \int_{0.25}^{3.5} 6163.46\cdot e^{-0.125\,x}dx\right) = 4.327\cdot10^{10}$$ Бк=43,3 ГБк

$$Q_3 = 2.232\cdot10^6\cdot\left(\int_0^{0.25} 21096.831\cdot e^{-12.218\,x}dx + \int_{0.25}^{3.5} 3669.766\cdot e^{-1.221\,x}dx\right) = 8.522\cdot10^9$$ Бк= 8,5 ГБк

$$\Sigma = 1.512\cdot10^{10} + 4.327\cdot10^{10} + 8.522\cdot10^9 = 6.691\cdot10^{10}$$ Бк = 66,9 ГБк (24)

Аналогично, для запасов по ^{137}Cs:

$$Q_1 = 2.232\cdot10^6\cdot\left(\int_0^{0.25} 2818.78005\cdot e^{-6.105\,x}dx + \int_{0.25}^{3.5} 1585.128\cdot e^{-0.718\,x}dx\right) = 4.525\cdot10^9$$ Бк= 4,5 ГБк

$$Q_2 = 2.232\cdot10^6\cdot\left(\int_0^{0.25} 12947.121\cdot e^{-8.663\,x}dx + \int_{0.25}^{3.5} 1316.545\cdot e^{-0.480\,x}dx\right) = 7.242\cdot10^9$$ Бк = 7,2 ГБк

$$Q_3 = 2.232\cdot10^6\cdot\left(\int_0^{0.25} 4344.37493\cdot e^{-6.570\,x}dx + \int_{0.25}^{3.5} 2377.224\cdot e^{-2.282\,x}dx\right) = 2.504\cdot10^9$$ Бк = 2,5 ГБк

$$\Sigma = 4.525\cdot10^9 + 7.242\cdot10^9 + 2.504\cdot10^9 = 1.427\cdot10^{10}$$ **Бк = 14,3 ГБк** (25)

$^{90}Sr/^{137}Cs = 4,7$ (26)

где Q_1, Q_2 и Q_3 - локальные запасы в соответствующих зонах озера, площади которых были примерно одинаковыми и равными 2,23 кв.км, (то есть одной трети от площади всего озера);

Σ - общие запасы радионуклида.

В расчетах мы также допустили, что глубина, характеризующая в рамках принятой модели условную границу раздела вертикального профиля на два участка, в пределах которых вертикальное распределение нуклидов описывается собственными экспоненциальными уравнениями, равна 0,25 м.

Расчеты запасов радионуклидов в донных отложениях оз. Тыгиш методом послойного суммирования дали результаты, близкие к таковым, полученным математическим моделированием: в 1993 году в донных отложениях находилось 79,3 ГБк ^{90}Sr и 14,9 ГБк ^{137}Cs (табл.3). Из этой таблицы также видно, что на долю верхнего 20-см слоя донных отложений приходится около 30% запаса каждого из радионуклидов.

Отметим, что сделанная нами ранее оценка запасов ^{90}Sr в сапропелях для 1993 г. - 60,2 ГБк, выполненная на основе анализа проб воды (табл.1), оказалась очень близка к рассчитанной по результатам исследований проб сапропелей - 66,9 ГБк, в то время как для ^{137}Cs наблюдается значительное расхождение этих оценок - 2,8 ГБк и 14,3 ГБк соответственно.

Используя найденные ранее (табл.1) для 1993 года запасы ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде, и запасы радионуклидов в донных отложениях, полученные математическим моделированием, мы оценили их суммарное содержание в воде и донных отложениях в 1993 году:

$$\sum {}^{90}Sr = 66{,}9 \text{ ГБк} + 10{,}7 \text{ ГБк} = 77{,}6 \text{ ГБк};$$

$$\sum {}^{137}Cs = 14{,}3 \text{ ГБк} + 0{,}38 \text{ ГБк} = 14{,}7 \text{ ГБк};$$

$$\sum {}^{90}Sr / \sum {}^{137}Cs = 5{,}28$$

Ретроспективный расчет на момент аварии с учетом естественного распада дает оценку первичного поступления этих радионуклидов в водоем в 1957 году:

$$\sum {}^{90}Sr = 77{,}6 \cdot e^{-Ln2 \cdot (t-36)/28{,}6} \text{ ГБк} = 160{,}1 \text{ ГБк};$$
$$\sum {}^{137}Cs = 14{,}7 \cdot e^{-Ln2 \cdot (t-36)/30{,}17} \text{ ГБк} = 33{,}5 \text{ ГБк};$$
$${}^{90}Sr/{}^{137}Cs = 4{,}78$$

Таблица 3

Расчет запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях оз. Тыгиш методом послойного суммирования, ГБк (1993 г).

Слой, см	^{90}Sr					^{137}Cs				
	1 зона	2 зона	3 зона	сумма по слоям	%	1 зона	2 зона	3 зона	сумма по слоям	%
0-5	1,7	3,3	1,7	**6,7**	8,4	0,3	1,2	0,4	**2,0**	13,4
5-10	1,0	2,7	0,9	**4,7**	5,9	0,1	0,7	0,3	**1,1**	7,4
10-15	1,3	3,3	0,6	**5,1**	6,4	0,2	0,5	0,2	**0,9**	5,9
15-20	1,8	2,2	0,3	**4,2**	5,3	0,1	0,3	0,2	**0,6**	4,0
20-40	1,5	4,0	1,0	**6,5**	8,2	0,6	0,4	0,5	**1,5**	10,0
40-60	1,2	2,6	1,5	**5,4**	6,8	0,5	0,4	0,5	**1,3**	8,8
60-80	1,2	1,5	0,9	**3,7**	4,6	0,6	0,5	0,3	**1,4**	9,1
80-100	0,7	2,1	0,4	**3,1**	4,0	0,4	0,5	0,1	**1,0**	6,7
100-150	1,5	6,4	0,0	**7,9**	10,0	0,5	0,8	0,0	**1,3**	9,0
150-200	1,3	6,3	0,0	**7,5**	9,5	0,6	0,6	0,0	**1,3**	8,4
200-250	1,0	4,5	0,0	**5,4**	6,9	0,5	0,4	0,0	**1,0**	6,6
250-300	1,2	5,9	0,0	**7,1**	9,0	0,3	0,4	0,0	**0,7**	4,7
300-350	0,4	2,0	0,0	**2,4**	3,0	0,1	0,0	0,0	**0,1**	0,7
250-350	1,6	7,9	0,0	**9,5**	12,0	0,4	0,4	0,0	**0,8**	5,4
Итого:	17,3	54,8	7,2	**79,3**	100,0	5,3	7,2	2,4	**14,9**	100,0

В этом случае также, как и в расчетах для 1993 г. начальные запасы для ^{90}Sr практически совпали с таковыми, полученными на основе ретроспективной оценки концентрации радионуклида на год аварии – 169,6 ГБк, в то время как рассчитанные запасы для ^{137}Cs оказались значительно ниже – 7,3 ГБк (табл.1). Возможно, это связано с сезонными колебаниями содержания ^{137}Cs в воде, в ходе которых в летние месяцы (когда отбирались пробы воды) концентрация радионуклида становится наименьшей. Циклические сезонные колебания концентрации радионуклида установлены, в частности, в исследовании, проведенном на одном из озер Южной Германии. В зимние месяцы 1991 г. концентрация ^{137}Cs в воде этого водоема составляла около 300 мБк/л, в июле-августе того же года она снизилась примерно в 3,5 раза, а в зимние месяцы вновь возросла. Авторы исследования полагают, что в зимние месяцы радионуклид десорбируется из донных отложений под влиянием ионов аммония, выделяющегося в это время из органического материала, а в летние месяцы ^{137}Cs сорбируется на глинистых частицах и биомассой (Lindberg et al., 1993). Возможно эти явления характерны и для мелководного пресного оз. Тыгиш, в летнее время значительную часть акватории которого занимают заросли водных растений, а сапропелевые отложения богаты органическим веществом.

Сравнение представленных выше расчетных данных о количестве ^{90}Sr, поступившего при аварии в оз. Тыгиш, с литературными ("Итоги изучения...", 1990), выявило существенное расхождение между ними. К сожалению, в указанной выше работе не приведена методика определения запасов этого радионуклида в донных отложениях. На основании проведенных расчетов мы предполагаем, что оценка запасов нуклида 22,1 Ки (817,7 ГБк) была проведена путем распространения на водоем данных 1960 г. о плотности загрязнения территории водосбора 4 Ku/км^2 (или 148 ГБк/км^2). Полученная таким способом оценка запасов ^{90}Sr в грунтах водоема оказалась завышенной (988 ГБк), так как значительно большая шероховатость поверхности суши (древесная и травянистая растительность, элементы микрорельефа, постройки и т.д.), по сравнению с поверхностью водоема, по-видимому, обусловила более высокий уровень задержания радиоактивных материалов.

Расчеты показывают, что средняя плотность загрязнения дна озера (на 1993 г) составляет 11,6 ГБк/км^2 по ^{90}Sr и 2,2 ГБк/км^2 по ^{137}Cs. Однако распределение радионуклидов по площади водоема характеризуется значительной неравномерностью. Так, в одном и том же слое сапропеля в пределах выделенных зон озера концентрация ^{90}Sr колеблется от нескольких раз до нескольких десятков раз. Это противоречит утверждению некоторых авторов о равномерном распределении радионуклида по площади залежи сапропеля в оз. Тыгиш (Пискунов и др., 1995).

На начальное распределение радионуклидов по площади дна озера могли оказать влияние также и заросли водных растений (Chara fragilis Desw, Chara aspera Wild, Cladophora glomerata Kutz., Myriophillum spicatum L, Scirpus lacustris L., Stratiotes aloides L.), которые наиболее обширны в центральной и северной прибрежной зонах водоема. Водные растения, в частности харовые, как известно, обладают высокой накопительной способностью по отношению к таким радионуклидам, как ^{90}Sr , концентрируют их (Тимофеева-Ресовская, 1963; Куликов, Чеботина, 1988) и при отмирании участвуют в образовании сапропеля.

В растениях, отобранных в озере, было определено содержание ^{137}Cs. Наиболее высокие концентрации нуклида оказались у погруженных растений - кладофоры, хары, урути (21,8-39,4 Бк/кг сухой массы). В прибрежно-водных растениях - камыше и ситнике - содержится лишь 5,1 и 2,3 Бк/кг ^{137}Cs.

Коэффициенты накопления (КН) радионуклида у погруженных растений составляют 2190-3940, а у камыша – 510 и ситника – 230. Кроме этого, на растениях отмечено поселение большого числа моллюсков, раковины которых интенсивно накапливают ^{90}Sr (Тимофеева-Ресовская, 1963). После отмирания моллюсков их раковины разрушаются и образовавшийся вследствие этого материал включается наряду с остатками отмерших рыб и растений в процессы образования донных отложений. В раковинах прудовика, собранных в мае 1993 года в северной прибрежной зоне оз. Тыгиш, оказалось ^{90}Sr - 4,4 кБк/кг и ^{137}Cs - 45 Бк/кг сухой массы Коэффициенты накопления ^{90}Sr в раковинах моллюска составляют 7335, а ^{137}Cs – 4500. В тушках карася (без внутренностей) концентрация ^{90}Sr равнялась 124-247 Бк/кг сырой массы, что превышает предельный уровень 100 Бк/кг, определенный санитарными правилами («Санитарные правила ...», 1993) а концентрация ^{137}Cs- 7,6 Бк/кг оказалась ниже санитарных норм (130 Бк/кг).

Озеро Червяное. Исследования показали, что в 1993 году в воде озера концентрация трития составляла 12,9±3,0 Бк/л, ^{90}Sr – 0,36±0,01 Бк/л и ^{137}Cs – 0,016±0,001 Бк/л. Динамика концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде за 40-летний период, начиная момента аварии, приведена на рис.8. Результаты, представленные на данном графике, включают собственные данные авторов ("Комплексная экологическая оценка...", 1993), а также данные других исследователей, опубликованные в работе ("Восточно-Уральский радиоактивный след", 1996).

На основе этих результатов нами построена математическая модель, описывающая изменения концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде озера Червяное следующими регрессионными уравнениями:

$$^{90}Sr(Бк/л) = 2,77 \cdot e^{-0,0521\,t}, \quad R^2 = 0,52 \qquad (27)$$

$$^{137}Cs\ (Бк/л) = 0,42 \cdot e^{-0,0967\,t}, \quad R^2 = 0,69 \qquad (28)$$

где время t, как и в ранее представленных формулах, дано в годах.

Из этих уравнений также следует, что концентрация ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде этого озера в год аварии (t=0) равнялась 2,77 и 0,42 Бк/л.

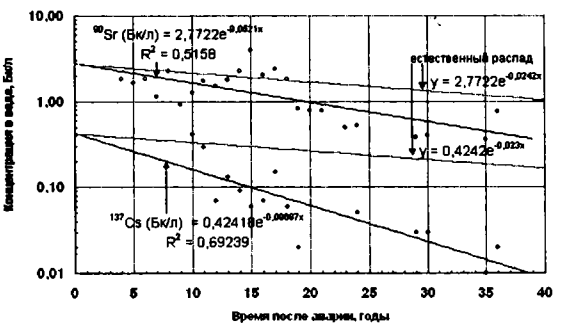


Рис.8 Изменение концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде озера Червяное (1957-1997 гг.)

Умножив текущие значения для концентраций радионуклидов, задаваемых формулами (27) и (28), на объем воды в озере, мы получаем оценку запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде для различных моментов времени (табл.4), в том числе в момент аварии (t=0). Величины начальных запасов оказались равными соответственно 51,3 ГБк ^{90}Sr и 7,9 ГБк ^{137}Cs. Исходя из оценок начальных поступлений этих радионуклидов, были получены их ожидаемые концентрации и запасы, рассчитанные с учетом радиоактивного распада. Согласно принятой модели, разница между ожидаемой и наблюдаемой оценками запасов характеризует запасы, аккумулированные в донных отложениях. Соответствующие расчетные величины для различных моментов времени представлены также в табл.4. Отметим, что для 1993 года запасы ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде равны 7,86 ГБк и 0,24 ГБк, а запасы в донных отложениях – 13,6 ГБк и 3,2 ГБк соответственно. При перспективном расчете на 2057 год (100 лет после аварии), модель при отсутствии внешних поступлений прогнозирует снижение концентраций радионуклидов в воде до значений для ^{90}Sr - $2 \cdot 10^{-2}$ Бк/л и для ^{137}Cs - $3 \cdot 10^{-5}$ Бк/л, что соответствует запасам 0,28 ГБк и 0,5 МБк. Запасы исследуемых радионуклидов в донных отложениях уменьшатся до значений 4,26 ГБк и 0,79 ГБк соответственно. Следует отметить, что приведенные выше расчетные значения концентрации ^{137}Cs в воде для 2057 года находятся ниже современного фонового уровня.

Таблица 4

Расчет запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде и донных отложениях озера Червяное

Год	1957	1967	1977	1987	1993	1997	2007	2017	2037	2057
Время после аварии, лет	0	10	20	30	36	40	50	60	80	100
Расчетная концентрация ^{90}Sr в воде с учетом радиоактивного распада, Бк/л. Расчет по формуле (1)	2,8	2,2	1,7	1,3	1,2	1,1	0,8	0,6	0,4	0,3
Запасы ^{90}Sr в воде с учетом радиоактивного распада, ГБк	51,3	40,2	31,6	24,8	21,4	19,5	15,3	12,0	7,4	4,5
Расчетная концентрация ^{90}Sr в воде по уравнению регрессии (27)	2,8	1,6	1,0	0,6	0,4	0,3	0,2	0,12	0,04	0,02
Запасы ^{90}Sr в воде, рассчитанные по уравнению регрессии, ГБк	51,3	30,5	18,1	10,7	7,9	6,4	3,8	2,3	0,8	0,3
Запасы ^{90}Sr в донных отложениях, ГБк	0,0	9,8	13,5	14,0	13,6	13,1	11,5	9,7	6,6	4,3
Расчетная концентрация ^{137}Cs в воде с учетом радиоактивного распада, Бк/л. Расчет по формуле (1)	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,13	0,11	0,07	0,04
Запасы ^{137}Cs в воде с учетом радиоактивного распада, ГБк	7,9	6,2	5,0	3,9	3,4	3,1	2,5	2,0	1,3	0,8
Расчетная концентрация в воде, Бк/л, по уравнению регрессии (28)	0,4	0,2	0,06	0,02	0,013	0,009	0,003	0,001	0,0002	0,00003
Запасы ^{137}Cs в воде, рассчитанные по уравнению регрессии, ГБк	7,9	3,0	1,1	0,4	0,2	0,2	0,06	0,02	0,003	0,001
Запасы ^{137}Cs в донных отложениях, ГБк	0,0	3,3	3,8	3,5	3,2	3,0	2,4	2,0	1,3	0,8
Отношение концентраций $^{90}Sr/^{137}Cs$ в воде, рассчитанных с учетом радиоактивного распада	6,5	6,5	6,4	6,3	6,3	6,2	6,1	6,1	5,9	5,8
Отношение концентраций $^{90}Sr/^{137}Cs$ в воде, рассчитанных по уравнениям регрессии	6,5	10,2	16,0	25,1	32,9	39,3	61,6	96,5	236,7	580,7
Отношение концентраций $^{90}Sr/^{137}Cs$ в донных отложениях		3,0	3,5	4,0	4,3	4,4	4,7	5,0	5,3	5,4

В табл. 5 и 6 приведены данные о вертикальном распределении ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях озера. Отметим, что из-за резкого возрастания с глубиной плотности грунта отбор образцов удалось провести только в слое 80-105 см, хотя, как показано выше, толща его в оз. Червяном превышает 5 м. Из таблиц видно, что в слоях грунта 0-10 и 10-20 см концентрация обоих радионуклидов колеблется в широких пределах: по ^{90}Sr - от 5,8 до 344,6 Бк/кг и по ^{137}Cs - от 8,7 до 300,6 Бк/кг сухой массы, причем содержание нуклидов в первом слое, как правило, выше, чем во втором. Однако в точке 2 (рис. 3) концентрации обоих радионуклидов в слое грунта 0-10 см в несколько раз ниже, чем в слое 10-20 см, что обусловлено намывом менее радиоактивного материала с прилегающего участка суши, на котором производились земляные работы.

Обращают на себя внимание в целом более высокие концентрации ^{137}Cs в донных отложениях по сравнению с концентрациями ^{90}Sr. Так, в верхнем 10-см слое в шести точках из девяти концентрация ^{90}Sr оказалась ниже концентрации ^{137}Cs; в среднем отношение $^{90}Sr/^{137}Cs$ составляет 0.95. Следует отметить, что на прибрежных участках водосбора оз. Червяного в ряде точек содержание ^{137}Cs в почве превышает таковое по ^{90}Sr. Так, в 40-см верхнем слое почвы на водосборе оз. Червяное концентрация ^{137}Cs в среднем в 2,3 раза, а в одном из мест отбора проб в слое 0-5 см – в 3,5 раза выше концентрации ^{90}Sr ("Почвенно-экологические условия...", 1996). Это свидетельствует о том, что оз. Червяное и территория его водосбора подверглись аэральному загрязнению ^{137}Cs от неизвестного источника.

Математическая обработка данных табл. 5 и 6 показала, что вертикальное распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях оз. Червяное (рис. 9) достаточно корректно описывается экспоненциальными уравнениями:

$$^{90}Sr(Бк/м^3) = 32736{,}28 \cdot e^{-7.72\,x}, \qquad R^2 = 0{,}865 \qquad (29)$$

$$^{137}Cs\ (Бк/м^3) = 33709{,}75 \cdot e^{-7.76\,x}, \qquad R^2 = 0{,}86 \qquad (30)$$

где вертикальная координата x выражена в метрах.

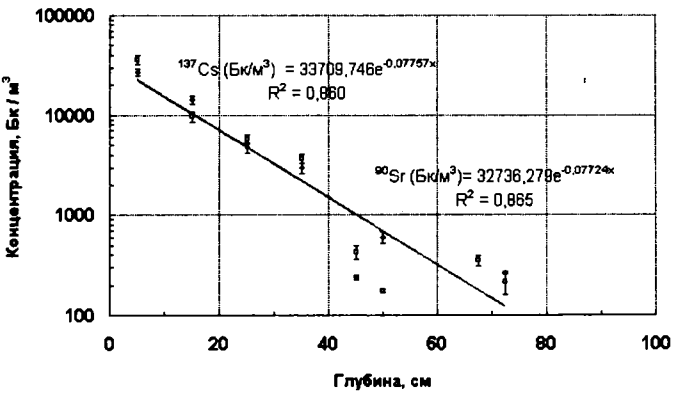


Рис. 9 Вертикальное распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях озера Червяное

Таблица 5

Вертикальное распределение ^{90}Sr в донных отложениях озера Червяное, Бк/кг воздушно-сухой массы (1993 г.)

Слой, см	Точка отбора проб								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0-10	60,1 ±2,8	5,8 ±0,5	140,1 ±11,0	209,9 ±21,3	310,6 ±22,1	150,1 ±9,3	25,3 ±3,4	212,4 ±19,3	47,4 ±5,3
10-20	31,5 ±3,7	105,1 ±9,4	80,2 ±3,1	93,2 ±7,3	108,4 ±11,4	95,2 ±6,8	13,0 ±1,9	76,8 ±9,5	8,5 ±0,6
20-30	27,4 ±4,1	19,5 ±2,5	28,6 ±1,5	15,7 ±3,1	24,8 ±1,8	32,4 ±2,3	12,0 ±1,6	32,7 ±4,6	8,1 ±0,8
30-40	8,3 ±0,8	25,5 ±1,9	10,1 ±0,5	10,9 ±1,6	14,0 ±1,5	21,6 ±1,8	7,0 ±0,7	22,0 ±4,0	6,5 ±0,7
40-50	- -	10,3 ±0,5	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
50-80	- -	- -	- -	- -	6,5 ±0,3	- -	- -	19,2 ±3,1	- -
80-95	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
95-105	11,2 ±0,3	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -

Таблица 6

Вертикальное распределение ^{137}Cs в донных отложениях озера Червяное, Бк/кг воздушно-сухой массы (1993 г.)

Слой, см	Точка отбора проб								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0-10	136,6 ±7,5	15,0 ±2,0	220,3 ±8,7	344,6 ±48,9	300,4 ±41,2	243,0 ±9,3	13,9 ±2,8	241,5 ±31,2	27,3 ±3,3
10-20	32,0 ±4,9	93,3 ±12,5	80,1 ±3,1	40,1 ±6,6	60,3 ±5,6	46,2 ±3,7	8,7 ±1,6	37,5 ±6,8	13,0 ±2,1
20-30	26,7 ±3,7	36,6 ±4,6	45,3 ±2,8	15,7 ±1,9	25,8 ±1,9	48,4 ±3,3	9,1 ±1,5	33,2 ±5,1	5,6 ±0,9
30-40	24,5 ±0,9	32,1 ±4,1	20,1 ±1,2	10,7 ±1,3	15,4 ±0,9	21,6 ±4,1	5,9 ±0,8	22,0 ±2,5	5,1 ±0,8
40-50	- -	18,2 ±2,8	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
50-80	- -	- -	- -	- -	7,5 ±0,3	- -	- -	- -	- -
80-95	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	15,0 ±1,8	- -
95-105	9,2 ±2,3	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -

Запасы, соответствующие этим распределениям, равны:

$$^{90}Sr = 5.64 \cdot 10^{6} \cdot \int_{0}^{1} 32736.27946 \cdot e^{-7.72362 x} dx = 2.389 \cdot 10^{10} \quad \text{Бк} = \mathbf{23{,}9\ ГБк} \quad (31)$$

$$^{137}Cs = 5.64 \cdot 10^{6} \cdot \int_{0}^{1} 33709.74607 \cdot e^{-7.75735 x} dx = 2.45 \cdot 10^{10} \quad \text{Бк} = \mathbf{24{,}5\ ГБк} \quad (32)$$

$$^{90}Sr/^{137}Cs = 0{,}98 \quad (33)$$

Запасы радионуклидов в донных отложениях водоема, определенные методом послойного суммирования, составили на 1993 г.: по ^{90}Sr - 30,1 ГБк, по ^{137}Cs - 33,5 ГБк (табл.7,8).

Отметим, что сделанная нами ранее оценка запасов ^{90}Sr в донных отложениях для 1993 г. - 13,6 ГБк, выполненная на основе анализа проб воды (табл.4), оказалась несколько меньшей по сравнению с таковой, рассчитанной по результатам исследований проб донных отложений - 23,9 ГБк, а для ^{137}Cs наблюдается значительное расхождение этих оценок - 3,2 ГБк и 24,5 ГБк соответственно.

Используя найденные ранее (табл.4) для 1993 года запасы ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде и запасы этих радионуклидов в донных отложениях, полученные путем математического моделирования, мы оценили их суммарное содержание в воде и донных отложениях в 1993 году:

$$\sum {}^{90}Sr = 7{,}9\ \text{ГБк} + 23{,}9\ \text{ГБк} = 31{,}8\ \text{ГБк};$$

$$\sum {}^{137}Cs = 0{,}24\ \text{ГБк} + 24{,}5\ \text{ГБк} = 24{,}7\ \text{ГБк};$$

$$\sum {}^{90}Sr / \sum {}^{137}Cs = 1{,}29.$$

Ретроспективный расчет на момент аварии с учетом естественного распада дает оценку первичного поступления этих радионуклидов в водоем в 1957 году:

$$\sum {}^{90}Sr = 31{,}8 \cdot e^{-Ln2 \cdot (t-36)/28{,}6}\ \text{ГБк} = 76{,}0\ \text{ГБк};$$

$$\sum {}^{137}Cs = 24{,}7 \cdot e^{-Ln2 \cdot (t-36)/30{,}17}\ \text{ГБк} = 56{,}6\ \text{ГБк};$$

$$\sum {}^{90}Sr / \sum {}^{137}Cs = 1{,}34.$$

В отловленной в озере рыбе концентрация ^{90}Sr оказалась наименьшей у карася (42,4 Бк/кг сырой массы), почти вдвое большей у карпа (86,5 Бк/кг) и в 3,3 раза большей у пеляди (139,9 Бк/кг), что превышает допустимый санитарный уровень (100 Бк/кг). Концентрация ^{137}Cs в рыбах этих видов была практически одинаковой и в среднем равнялась 2,5 Бк/кг сырой массы, что значительно ниже

предельно допустимых санитарных норм («Санитарные правила...», 1993).

В растениях, произрастающих в оз. Червяном, концентрация ^{137}Cs составила: для кладофоры 40,0-54,5 Бк/кг сухой массы, для ситника и камыша 2,2-5,3 Бк/кг и 6,0 Бк/кг соответственно. Коэффициенты накопления ^{137}Cs у кладофоры оказались равными 2500-3410, у камыша – 375, у ситника – 140-330.

Таблица 7

Расчет запасов ^{90}Sr в донных отложениях оз. Червяное методом послойного суммирования, ГБк (1993 г.)

Слой, см	Точка отбора проб									Сумма по слоям	%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
0-10	0,8	0,1	1,8	2,8	4,1	2,0	0,3	2,8	0,6	15,3	51
10-20	0,4	1,4	1,1	1,2	1,4	1,3	0,2	1,0	0,1	8,1	27
20-30	0,4	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,4	0,1	2,7	8,8
30-40	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,3	0,1	1,7	5,5
40-50		0,1								0,1	0,5
50-80					0,3			1,0		1,4	4,5
80-105	1,0									1,0	3,2
Сумма по точкам	2,6	2,2	3,4	4,3	6,4	3,9	0,8	5,5	0,9	**Итого: 30,1**	100

Таблица 8

Расчет запасов ^{137}Cs в донных отложениях оз. Червяное методом послойного суммирования, ГБк (1993г.)

Слой, см	Точка отбора проб									Сумма по слоям	%	$^{90}Sr/^{137}Cs$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
0-10	1,8	0,2	2,9	4,5	4,0	3,2	0,2	3,2	0,4	20,3	61	0,8
10-20	0,4	1,2	1,1	0,5	0,8	0,6	0,1	0,5	0,2	5,4	16	1,5
20-30	0,4	0,5	0,6	0,2	0,3	0,6	0,1	0,4	0,1	3,2	9,7	0,8
30-40	0,3	0,4	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,3	0,1	2,1	6,2	0,8
40-50		0,2								0,2	0,7	0,6
50-80					0,4					0,4	1,2	3,4
80-95								1,1		1,1	3,2	
95-105	0,8									0,8	2,3	1,2
Сумма по точкам	3,7	2,6	4,8	5,4	5,7	4,7	0,5	5,5	0,7	**Итого: 33,5**	100	0,9
$^{90}Sr/^{137}Cs$	0,7	0,9	0,7	0,8	1,1	0,8	1,5	1,0	1,4	0,9		

Озеро Большой Сунгуль. В 1993 г. в воде озера содержалось 10,0±1,8 Бк/л трития, а также 0,32 ±0,01 Бк/л ^{90}Sr и 0,012±0,002 Бк/л ^{137}Cs

На основании собственных ("Комплексная экологическая оценка...", 1993) и литературных данных ("Восточно-Уральский радиоактивный след", 1996) (рис.10), нами построена математическая модель, описывающая изменение концентрации радионуклидов в воде озера Большой Сунгуль в зависимости от времени t (в годах), прошедшего после аварии:

$$^{90}Sr(Бк/л) = 3,18 \cdot e^{-0,0645\,t}, \quad R^2 = 0,70 \quad (34)$$
$$^{137}Cs\ (Бк/л) = 0,15 \cdot e^{-0,0648\,t}, \quad R^2 = 0,61 \quad (35)$$

откуда следует, что концентрация ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде в год аварии (t=0) равнялась 3,18 и 0,15 Бк/л.

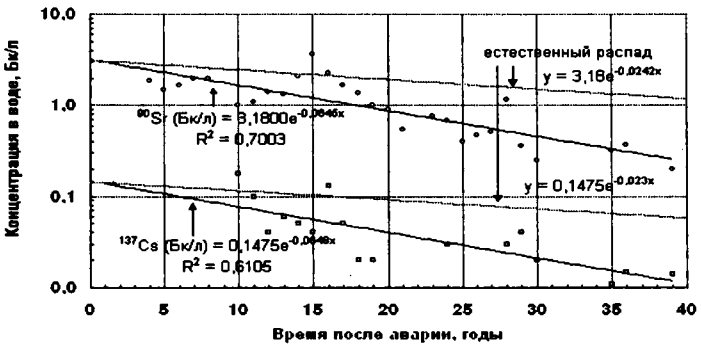


Рис.10 Изменение концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде озера Большой Сунгуль (1957-1997 гг.)

Используя эти уравнения, были определены запасы радионуклидов в воде и донных отложениях в различные сроки после аварии (табл.9), показавшие, что в 1993 г. в воде озера находилось 8,3 ГБк ^{90}Sr и 0,4 ГБк ^{137}Cs, а в донных отложениях - 27,1 ГБк ^{90}Sr и 1,3 ГБк ^{137}Cs. Как видно из этой же таблицы, первичное поступление радионуклидов в водоем (при t=0) составило 84,6 ГБк ^{90}Sr и 3,9 ГБк ^{137}Cs

В табл. 10 и 11 представлены данные о вертикальном распределении ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях. В большинстве мест отбора проб на этом водоеме наиболее высокие концентрации радионуклидов обнаружены в верхнем 30- 40-см слое грунта. При этом в северо-восточной и восточной частях озера концентрация радионуклидов в слое грунта 0 –10 в среднем значительно ниже, чем в слое 10-20 см. Это обусловлено намывом органо-минерального материала с прилегающего участка суши, на котором производились земляные работы, связанные с перемещением грунта.

Так, концентрация ^{90}Sr в слое грунта 0-10 см на этих участках составляет 33,3-85,5 Бк/кг и 28,2-70,1 Бк/кг ^{137}Cs, то в слое 10-20 см соответственно 111,5-209,8 Бк/кг и 58,3-80,9 Бк/кг. Причем содержание ^{137}Cs в слое 20-40 см достигало в восточной прибрежной части 145 Бк/кг. Следует отметить большие различия в уровнях радиоактивного загрязнения северо-западной, северной и западной

прибрежных частей озера, где концентрация радионуклидов в верхнем 30-см слое грунта находилась в пределах 15-83 Бк/кг, что значительно ниже, чем в остальных его частях (46-400 Бк/кг).

Вертикальное распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях оз. Б.Сунгуль корректно описывается двумя экспоненциальными уравнениями, каждое из которых соответствует своему участку вертикального профиля (рис. 11). Концентрация обоих радионуклидов в верхних слоях донных отложений оз. Б.Сунгуль почти постоянна, что выражается малым наклоном кривых вертикального распределения. Такая картина изменения с глубиной концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в грунтах этого озера аналогична наблюдаемой в почвах ("Комплексная экологическая оценка...", 1993;). Специальные исследования, проведенные в прибрежной зоне водосбора оз. Б.Сунгуль, показали, что в северной части побережья содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в слое почвы 0-3см составляет 62,5±2,4 Бк/кг и 18,8±1,0 Бк/кг, а в слое 3-8 см – 243,0±4,8 Бк/кг и 27,5±2,1 Бк/кг соответственно, что также обусловлено проведением вблизи прибрежной зоны земляных работ.

Математическая модель вертикального распределения радионуклидов в донных отложениях озера представлена следующими уравнениями регрессии:

- в поверхностном слое (вертикальная координата $x < 0,25$ м):

^{90}Sr (Бк/м^3)= $57347,2\ e^{-0,601\,x}$, $R^2 = 0,90$ (36)
^{137}Cs (Бк/м^3)= $37862,1\ e^{-1,2\,x}$, $R^2 = 0,91$ (37)

- в глубинных слоях ($x \geq 0,25$м):

^{90}Sr(Бк/м^3)= $121750,5\ e^{-3,98\,x}$, $R^2 = 0,97$ (38)
^{137}Cs(Бк/м^3) = $61752,6 \cdot e^{-3,507\,x}$, $R^2 = 0,92$ (39)

Запасы, соответствующие этим распределениям, равны:

$$^{90}Sr = 10.02\cdot10^{8}\cdot\left(\int_0^{0.25} 57347.18\cdot e^{-0.601\cdot x}dx + \int_{0.25}^{1} 121750.504\cdot e^{-3.984\cdot x}dx\right) = 2.408\cdot10^{11}\ \text{Бк} = 240,1\text{ГБк} \quad (40)$$

$$^{137}Cs = 10.02\cdot10^{8}\cdot\left(\int_0^{0.25} 37862.06\cdot e^{-1.20\cdot x}dx + \int_{0.25}^{1} 61752.57\cdot e^{-3.507\cdot x}dx\right) = 1.501\cdot10^{11}\ \text{Бк} = 50,1\text{ГБк} \quad (41)$$

$$^{90}Sr/^{137}Cs = 1,6 \quad (42)$$

Расчеты, выполненные методом послойного суммирования, показали, что в донных отложениях озера накоплено 239,4 ГБк ^{90}Sr и 148,5 ГБк ^{137}Cs (табл. 12, 13). Эти значения практически совпали с величинами, найденными методом математического моделирования.

Используя найденные ранее (табл.9) для 1993 года запасы ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде, и запасы радионуклидов в донных отложениях, полученные математическим моделированием, мы оценили их суммарное содержание в воде и донных отложениях в 1993 году:

$\sum$ ^{90}Sr = 8,3 ГБк + 240,1 ГБк = 248,4 ГБк;
$\sum$ ^{137}Cs = 0,4 ГБк + 150,1 ГБк = 150,5 ГБк;
$\sum$ $^{90}Sr/\sum$ ^{137}Cs = 1,65.

Таблица 9

Расчет запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде и донных отложениях озера Большой Сунгуль

Год	1957	1967	1977	1987	1993	1997	2007	2017	2037	2057
Время после аварии, лет	0	10	20	30	36	40	50	60	80	100
Расчетная концентрация ^{90}Sr в воде с учетом радиоактивного распада, Бк/л. Расчет по формуле (1)	3,18	2,50	1,96	1,54	1,33	1,21	0,95	0,74	0,58	0,46
Запасы ^{90}Sr в воде с учетом радиоактивного распада, ГБк	84,59	66,38	52,10	40,88	35,35	32,08	25,18	19,76	15,51	12,17
Расчетная концентрация ^{90}Sr в воде по уравнению регрессии (34)	3,18	1,67	0,88	0,46	0,31	0,24	0,13	0,07	0,03	0,02
Запасы ^{90}Sr в воде, рассчитанные по уравнению регрессии, ГБк	84,59	44,38	23,28	12,22	8,30	6,41	3,36	1,76	0,93	0,49
Запасы ^{90}Sr в донных отложениях, ГБк	0,00	22,00	28,81	28,67	27,05	25,67	21,82	18,00	14,58	11,68
Расчетная концентрация ^{137}Cs в воде с учетом радиоактивного распада, Бк/л. Расчет по формуле (1)	0,15	0,12	0,09	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02
Запасы ^{137}Cs в воде с учетом радиоактивного распада, ГБк	3,92	3,12	2,48	1,97	1,72	1,57	1,24	0,99	0,79	0,62
Расчетная концентрация в воде, Бк/л, по уравнению регрессии (35)	0,15	0,08	0,04	0,02	0,014	0,011	0,006	0,003	0,002	0,0008
Запасы ^{137}Cs в воде, рассчитанные по уравнению регрессии, ГБк	3,92	2,05	1,07	0,56	0,38	0,29	0,15	0,08	0,04	0,02
Запасы ^{137}Cs в донных отложениях, ГБк	0,00	1,07	1,40	1,41	1,34	1,27	1,09	0,91	0,74	0,60
Отношение концентраций $^{90}Sr/^{137}Cs$ в воде, рассчитанных с учетом радиоактивного распада	21,56	21,29	21,02	20,76	20,60	20,50	20,24	19,99	19,74	19,49
Отношение концентраций $^{90}Sr/^{137}Cs$ в воде, рассчитанных по уравнениям регрессии	21,56	21,62	21,69	21,75	21,79	21,82	21,89	21,95	22,02	22,08
Отношение концентраций $^{90}Sr/^{137}Cs$ в донных отложениях		20,64	20,51	20,36	20,26	20,19	20,01	19,81	19,61	19,40

Таблица 10

Вертикальное распределение ^{90}Sr в донных отложениях
озера Большой Сунгуль, Бк/кг воздушно-сухой массы (1993 г.)

Слой, см	Точка отбора проб																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0-10	85,5	45,2	35,3	43,0	182,2	312,5	282,1	400,5	350,6	105,3	83,0	25,4	380,2	282,4	98,1	115,0	95,4
10-20	209,8	55,2	111,5	50,7	190,0	230,0	250,4	376,3	300,0	180,5	75,1	20,5	340,0	196,5	87,2	91,4	85,6
20-30	180,3	152,2	165,2	76,5	250,1	180,3	160,2	340,0	285,3	170,4	35,4	21,3	281,1	138,0	52,3	55,3	47,1
30-40	153,6	126,4	128,0	153,8	123,6	104,0	98,0	201,4	191,3	128,6	28,2	12,0	253,4	50,2	30,2	43,1	30,3
40-60	38,1	43,3	35,7	124,4	78,5	9,9	11,3	24,0	100,1	55,3	19,4	6,4	33,5	15,3	19,1	30,3	25,3
60-80	20,0	22,0	22,4	35,0	44,0	6,5	9,1	28,1	12,3	15,4	17,3		18,2				
80-100	8,3	12,0	18,3	17,3	17,1	5,6	7,8	18,3	7,0								

Таблица 11

Вертикальное распределение ^{137}Cs в донных отложениях озера Большой Сунгуль, Бк/кг воздушно-сухой массы (1993 г.)

Слой см	Точка отбора проб																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0-10	70,1	31,8	28,2	26,4	93,4	202,3	160,0	290,0	240,1	32,4	51,2	18,9	262,2	88,0	89,9	51,1	200,3
10-20	58,3	26,8	80,9	33,8	76,0	155,1	130,5	172,5	149,3	116,5	48,2	16,3	215,2	75,0	69,7	57,8	126,0
20-30	46,5	90,6	145,5	60,7	149,7	128,0	100,0	135,3	130,9	103,9	23,6	15,1	217,9	15,4	47,3	36,8	75,9
30-40	38,2	87,8	137,7	75,8	58,1	63,5	73,6	112,1	67,1	100,5	22,3	9,3	214,7	13,2	19,5	16,7	37,1
40-60	14,4	28,9	23,5	74,1	54,2	6,4	9,5	12,3	67,2	50,7	9,9	12,6	18,6	8,0	16,3	16,6	10,6
60-80	8,5	18,6	12,0	24,9	25,2	4,3	8,0	10,2	6,3	13,4	7,9		7,9				
80-100	11,2	11,6	15,9	14,8	15,0	4,8	5,1	17,1	2,9								

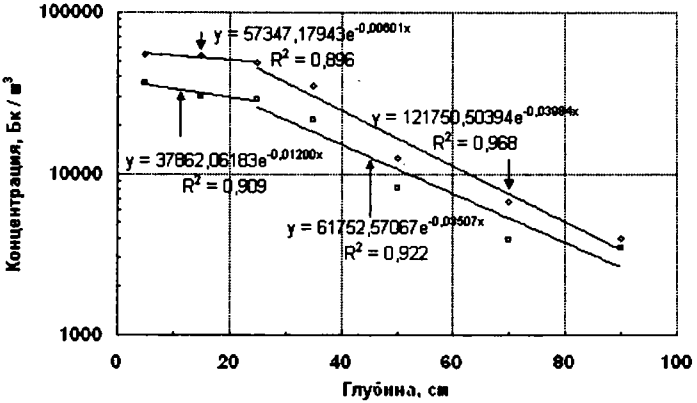


Рис. 11 Вертикальное распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях озера Большой Сунгуль

Ретроспективный расчет на год аварии с учетом естественного распада дает оценку первичного поступления этих радионуклидов в водоем в 1957 году:

$$\Sigma\ ^{90}Sr = 248,4 \cdot e^{-Ln2 \cdot (t-36)/28,6}\ \text{ГБк} = 594,4\ \text{ГБк};$$

$$\Sigma\ ^{137}Cs = 150,5 \cdot e^{-Ln2 \cdot (t-36)/30,17}\ \text{ГБк} = 344,1\ \text{ГБк};$$

$$\Sigma\ ^{90}Sr/\Sigma\ ^{137}Cs = 1,73$$

Большой интерес представляет определение содержания радионуклидов в рыбе, поскольку в водоеме производится промышленный отлов карпа. Оказалось, что в карпе содержится 61,2±0,22 Бк/кг ^{90}Sr и 1,8±0,22 ^{137}Cs Бк/кг сырой массы, что существенно ниже предельно допустимых уровней («Санитарные правила...», 1999).

В растениях проявляется отмеченная выше закономерность: погруженные растения содержат больше ^{137}Cs, чем прибрежно-водные. Так, концентрация радионуклида в кладофоре составляет 50,9±2,0 Бк/кг, в камыше – 2,6±0,3 Бк/кг сухой массы, а коэффициенты накопления равнялись соответственно 4240 и 215.

Анализ данных показывает, что существующая в настоящее время экологическая ситуация на трех обследованных бессточных озерах ВУРСа сложилась под влиянием ряда факторов», одни из которых действовали вскоре после аварии, другие - в течение всего поставарийного периода.

Расчеты показали, что основным источником поступления ^{90}Sr на территорию водосборов обследованных озер явилась Кыштымская авария 1957 г.(94,6%), глобальные выпадения составили лишь 2,4%. Поступление ^{137}Cs от Кыштымской аварии оценены в 7,9 %, от аварии на ЧАЭС (1986 г.) - 12%, от глобальных выпадений - 22,2% и от не установленных источников 57,9% (Ааркрог и др., 1992). Очевидно, данная закономерность в целом распространяется и на обследованные водоемы.

Таблица 12

Расчет запасов ^{90}Sr в донных отложениях озера Большой Сунгуль методом послойного суммирования, ГБк (1993 г)

Слой, см	Точка отбора проб																	Сумма по слоям	%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
0-10	1,6	0,9	0,7	0,8	3,4	5,9	5,3	7,6	6,6	2,0	1,6	0,5	7,2	5,3	1,9	2,2	1,8	55,1	23,8
10-20	4,0	1,0	2,1	1,0	3,6	4,3	4,7	7,1	5,7	3,4	1,4	0,4	6,4	3,7	1,6	1,7	1,6	53,8	23,2
20-30	3,4	2,9	3,1	1,4	4,7	3,4	3,0	6,4	5,4	3,2	0,7	0,4	5,3	2,6	1,0	1,0	0,9	48,9	21,1
30-40	2,9	2,4	2,4	2,9	2,3	2,0	1,9	3,8	3,6	2,4	0,5	0,2	4,8	1,0	0,6	0,8	0,6	35,0	15,1
40-60	1,4	1,6	1,4	4,7	3,0	0,4	0,4	0,9	3,8	2,1	0,7	0,2	1,3	0,6	0,7	1,1	1,0	25,3	10,9
60-80	0,8	0,8	0,8	1,3	1,7	0,3	0,3	1,1	0,5	0,6	0,7	0,0	0,7					9,4	4,1
80-100	0,3	0,5	0,7	0,7	0,7	0,2	0,3	0,7	0,3									4,2	1,8
Сумма по точкам	14,4	10,1	11,2	12,8	19,3	16,4	16,0	27,5	25,8	13,7	5,6	1,7	25,6	13,2	5,8	6,9	5,8	**Итого: 231,7**	100,0

Таблица 13

Расчет запасов ^{137}Cs в донных отложениях озера Большой Сунгуль методом послойного суммирования, ГБк (1993 г)

Слой, см	Точка отбора проб																	Сумма по слоям	%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
0-10	1,3	0,6	0,5	0,5	1,8	3,8	3,0	5,5	4,5	0,6	1,0	0,4	5,0	3,8	1,0	1,7	1,7	36,5	25,6
10-20	1,1	0,5	1,5	0,6	1,4	2,9	2,5	3,3	2,8	2,2	0,9	0,3	4,1	2,4	1,1	1,3	1,4	30,3	21,2
20-30	0,9	1,7	2,7	1,1	2,8	2,4	1,9	2,6	2,5	2,0	0,5	0,3	4,1	1,4	0,7	0,9	0,3	28,7	20,1
30-40	0,7	1,7	2,6	1,4	1,1	1,2	1,4	2,1	1,3	1,9	0,4	0,2	4,1	0,7	0,3	0,4	0,3	21,6	15,1
40-60	0,5	1,1	0,9	2,8	2,0	0,2	0,4	0,5	2,5	1,9	0,4	0,5	0,7	0,4	0,6	0,6	0,3	16,4	11,5
60-80	0,3	0,7	0,5	0,9	1,0	0,2	0,3	0,4	0,2	0,5	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	3,9
80-100	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,2	0,190	0,650	0,110	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	2,6
Сумма по точкам	5,3	6,7	9,3	8,0	10,7	10,9	9,6	14,9	14,0	9,1	3,4	1,6	18,2	8,7	3,7	4,9	3,9	**Итого: 142,8**	100,0

Однако следует отметить, что обследованные озера различаются по соотношению $^{90}Sr/^{137}Cs$ в воде и донных отложениях. Так, отношение $^{90}Sr/^{137}Cs$ в воде озер Тыгиш, Червяное и Б.Сунгуль, рассчитанное по уравнению регрессии, составляет соответственно 28,0, 21,8 и 32,9, а в верхнем 10-см слое донных отложений в среднем оно равно 3,4, 0,9 и 1,7. Последнее, а также приведенные выше данные об отношении $^{90}Sr/^{137}Cs$ в почвах водосбора исследованных озер, свидетельствует о том, что действие неизвестного источника эмиссии ^{137}Cs наиболее сильно проявляется на озерах Червяное и Б.Сунгуль.

В 1993 г. концентрация ^{90}Sr в воде оз. Тыгиш составила 0,60 Бк/л, оз. Червяное - 0,36 Бк/л и оз. Б.Сунгуль - 0,32 Бк/л. По расчетам, сделанным с использованием математических моделей, в 1957 г. концентрация ^{90}Sr в воде озер Тыгиш, Червяное и Б.Сунгуль равнялась 12,7 Бк/л, 3,2 Бк/л и 2,8 Бк/л, а концентрация ^{137}Cs в воде этих озер -55 Бк/л, 0,42 Бк/л и 0,15 Бк/л. Аналогичные расчеты показали, что к 2000 г. содержание ^{90}Sr в воде изучаемых озер понизится в оз. Тыгиш до 4,5 Бк/л, в оз. Червяное - до 0,3 и в оз. Б.Сунгуль - до 0,2 Бк/л, а концентрация ^{137}Cs в воде этих озер уменьшится до 0,01-0,02 Бк/л. По расчетам, в 1993 г. запасы ^{90}Sr в оз. Тыгиш равнялись 77,6 ГБк, в оз. Червяное -31,8 ГБк, в оз. Б.Сунгуль -249,1 ГБк, а запасы ^{137}Cs составили 14,7 ГБк, 24,7 ГБк и 150,5 ГБк соответственно. При этом на долю воды в водоемах приходилось 3,1-13,8% от общего запаса ^{90}Sr и 0,03-21,8% от общего запаса ^{137}Cs. В начале аварии, в 1957 г., суммарное содержание каждого из радионуклидов было значительно выше: по ^{90}Sr оно составляло 160,1 ГБк в оз. Тыгиш, 76,0 ГБк в оз. Червяное и 596,1 ГБк в оз. Б.Сунгуль, а ^{137}Cs - 33,5 ГБк, 56,6 ГБк и 344,1 ГБк соответственно.

Вертикальное и площадное распределение радионуклидов в донных отложениях каждого из трех водоемов в основном определяется уровнем и характером первоначального радиоактивного загрязнения акватории в 1957 г. и поступлением радионуклидов из других указанных выше источников, а также с территории водосбора. Обращает на себя внимание то, что в 10-см верхнем слое донных отложений озер Б.Сунгуль и Червяное концентрация ^{90}Sr соответственно в 1,4 и 1,8 раз ниже, а ^{137}Cs, наоборот, в 3 и 2 раза выше, чем в донных отложениях оз. Тыгиш. При этом отношение $^{90}Sr/^{137}Cs$ в указанном слое донных отложений в оз. Тыгиш равно 4,3 , а в двух других озерах – 1,5 (оз. Б.Сунгуль) и 0,8 (оз. Червяное). В контрольном озере Щучье, расположенном в Свердловской области вне территории ВУРСа, это отношение равно 0,9 при концентрации ^{90}Sr – 69 Бк/кг и ^{137}Cs - 75 Бк/кг соответственно (Большаков и др., 1994) Эти данные и результаты нашего исследования, приведенные выше, свидетельствуют о том, что озера Б.Сунгуль и Червяное подверглись загрязнению ^{137}Cs от неизвестного источника.

Представленные данные указывают на то, что ^{90}Sr и ^{137}Cs могут служить трассерами процессов миграции вещества и формирования донных отложений в озерах. Действительно, первичное распределение и последующее перераспределение радионуклидов в основных компонентах водоемов отражают процессы миграции материала биогенного и абиогенного происхождения и образования донных отложений, на которые влияет ряд факторов. Поступающие в водоемы радионуклиды включаются в биогеохимические циклы, характерные для каждого из водоемов, в ходе которых создается тот или иной тип донных отложений и складывается определенный химический состав воды.

Объемы и пути поступления с суши материала жидкого и твердого стоков (включая тела отмерших растений и животных) в каждый из водоемов различны и в немалой степени определяются мезо- и микрорельефом, а также почвенно-

растительным покровом прибрежной части водосборов. В ряде случаев это может отражаться на характере площадного и вертикального (как показано выше) распределения радионуклидов. Наряду с этим на распределение радионуклидов в донных отложениях сильное влияние оказывают скопления водных растений и животных, движение водных масс под воздействием ветра (особенно в мелководных водоемах с сапропелевыми донными отложениями с их низкой плотностью). Определенную роль в возникновении неравномерности площадного распределения радионуклидов в водоемах могут играть и восходящие токи воды из подземных источников.

Исследования показали, что стратиграфически донные отложения состоят из двух основных зон: 1) верхней, в которой происходят активные биогеохимические процессы и 2) нижней, где активные биогеохимические процессы прекратились и она представляет собой депо ранее накопленного материала, куда поступают вещества из верхней зоны, причем масштабы этой миграции достаточно велики. Возможно, что в нижнюю зону поступают не только радионуклиды, но и, например, тяжелые металлы.

По содержанию радионуклидов вода озер Тыгиш, Червяное н Б.Сунгуль соответствует санитарным нормам для воды питьевой, предельный уровень которых равен 5 Бк/кг по ^{90}Sr и 11 Бк/кг по ^{137}Cs («Нормы радиационной безопасности...», 1999) и может использоваться в хозяйственных целях. Большие запасы известковистого сапропеля в оз. Тыгиш представляют интерес для мелиорации земель. Однако для реализации этой возможности необходимо проведение специальных дополнительных исследований, поскольку концентрация ^{90}Sr в верхнем 40-см слое сапропеля превышает предельный уровень (74 Бк/кг), определенный государственным нормативом для сапропелей, используемых в качестве удобрений для земель, подвергшихся радиоактивному загрязнению (Удобрения сапропелевые ..." 1993). Отметим, что максимальные концентрации ^{137}Cs в донных отложениях этого озера не являются препятствием для внесения их в почву указанных выше земель в виде удобрений, так как они ниже предельных значений, регламентируемых указанным документом.

Выводы

1 На основании результатов собственных радиоэкологических исследований озер Тыгиш, Червяное и Б.Сунгуль (территория Восточно-Уральского радиоактивного следа), проведенных в 1993 г., и данных ряда литературных источников, с помощью математического моделирования дана экстраполяционная оценка концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в указанных водоемах в начальный период после аварии на ПО «Маяк». По уравнениям регрессии сделаны прогностические расчеты концентрации радионуклидов в воде и донных отложениях озер в течение 100 лет, начиная с 1957 г.

2 В 1993 г. концентрация ^{90}Sr в воде оз. Тыгиш составила 0,60 Бк/л, оз. Червяное - 0,36 Бк/л и оз. Б.Сунгуль - 0,32 Бк/л. По расчетам, сделанным с использованием математических моделей, в 1957 г. концентрация ^{90}Sr в воде озер Тыгиш, Червяное и Б.Сунгуль равнялась 12,7 Бк/л, 3,2 Бк/л и 2,8 Бк/л, а концентрация ^{137}Cs в воде этих озер -55 Бк/л, 0,42 Бк/л и 0,15 Бк/л соответственно. Аналогичные расчеты показали, что к 2000 г. содержание ^{90}Sr в воде изучаемых озер понизится: в оз. Тыгиш - до 4,5 Бк/л, в оз. Червяное - до 0,3 и в оз. Б.Сунгуль - до 0,2 Бк/л, а концентрация ^{137}Cs в воде этих озер уменьшится до 0,01-0,02 Бк/л.

3 По расчетам, в 1993 г. общие запасы ^{90}Sr в воде и донных отложениях оз. Тыгиш равнялись 77,6 ГБк, в оз. Червяное -31,8 ГБк, в оз. Б.Сунгуль -249,1 ГБк, а общие запасы ^{137}Cs в этих озерах составили 14,7 ГБк, 24,7 ГБк и 150,5 ГБк соответственно. При этом на долю воды в водоемах приходилось 3,1-13,8% от общего запаса ^{90}Sr и 0,03-21,8% от общего запаса ^{137}Cs. В начале аварии, в 1957 г., суммарное содержание каждого из радионуклидов было значительно выше: по ^{90}Sr в оз. Тыгиш оно составляло 160,1 ГБк, в оз. Червяное - 76,0 ГБк и в оз. Б.Сунгуль - 596,1 ГБк, а ^{137}Cs - 33,5 ГБк, 56,6 ГБк и 344,1 ГБк соответственно.

4 Оценки запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях исследованных озер, полученные путем прямых измерений содержания нуклидов в пробах донных грунтов, и расчета по математическим моделям, имеют хорошую сходимость.

5 Обследованные озера различаются характером распределения запасов радионуклидов по слоям донных отложений. В оз. Тыгиш в верхнем 20-см слое содержится 30-35% каждого из радионуклидов, почти столько же накоплено в слое 20-100 см, остальное их количество депонировано в слое 100-350 см. В оз. Червяное в верхнем 20-см слое донных отложений аккумулировано около 23% ^{90}Sr и 77% ^{137}Cs, остальное количество этих радионуклидов мигрировало в слой 20-105 см. В оз. Б.Сунгуль в слое 0-10 см находится около 47% радионуклидов, 53% их перешло в слой 20-100 см.

6 Показано, что концентрация трития в воде озер значительно ниже предельных уровней, установленных НРБ-99 для питьевой воды.

Работа проведена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 99-05-64590) и Государственной программы Российской Федерации по радиационной реабилитации Уральского региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Большаков В.Н., Трапезников А.В., Юшков П.И., Трапезникова В.Н., Чеботина М.Я. Радиоэкологические исследования озер на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа в Свердловской области //Экосистемный подход к управлению водными ресурсами в бассейне рек. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Екатеринбург.13-14 декабря 1994 года). Екатеринбург, 1994. - С.15-16.

2 Восточно-Уральский радиоактивный след. (Свердловская область) Под.ред. В.Н.Чуканова. Екатеринбург, 1996.- 168 с.

3 Галактионов С.А. Озера Урала. Свердловск,1990.- 117 с.

4 Итоги изучения и опыт ликвидации последствий аварийного загрязнения территории продуктами деления урана. Под ред. А.И.Бурназяна. – М., Энергоатомиздат, 1990. – 143 с.

5 Комплексная экологическая оценка озер Тыгиш, Червяное, Большой Сунгуль, расположенных на территории ВУРС в Свердловской области. Отчет о НИР (заключительный) ИЭРиЖ УрО РАН. Руководитель А.В.Трапезников. Екатеринбург, 1993. -203 с.

6 Куликов Н.В., Чеботина М.Я.. Радиоэкология пресноводых биосистем. Свердловск: УрО АН СССР. 1988. - 120 с.

7 Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Михайловская Л.Н., Юшков П.И., Позолотина В.Н., Баженов А.В. Радионуклиды в гидроморфных почвах зоны радиационной аварии на Южном Урале.- Радиация, экология, здоровье. Екатеринбург, 1994. - С. 66-73.

8 Нормы Радиационной Безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы. Минздрав России. 1999. – 116 с.

9 Пискунов Л.И., Гущин В.М., Попова А.В. Миграция ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях оз. Тыгиш на Восточно-Уральском радиоактивном следе. // Водные ресурсы. 1995. т. 22, № 2. - С. 197-204.

10 Почвенно-экологические условия накопления и перераспределения радионуклидов в зоне ВУРС'а // Фирсова В.П., Молчанова И.В., Мещеряков П.В., Павлова Т.С., Караваева Е.Н., Прокопович Е.В., Тощев В.В. – Екатеринбург: Изд - во "Екатеринбург", 1996.-140 с.

11Радиоэкологическое исследование пресноводных экосистем. Оценка запасов радионуклидов и тяжелых металлов в основных компонентах озер на территории ВУРС'а в Свердловской области. Исследование вертикального распределения радионуклидов в донных отложениях. // Отчет о НИР ИЭРиЖ УрО РАН. Научн. руководители А.В.Трапезников и Н.В.Куликов. Екатеринбург. 1992. Фонды биб-ки ИЭРиЖ УрО РАН.- 200 с.

12 Санитарные правила. С.П.2.6.1.758-99. СанПиН. 2.1.4.559-96. Минздрав России. 1999. –115 с.

13 Тимофеева-Ресовская Е.А. Распределение радиоизотопов по основным компонентам пресноводных водоемов.// Тр. Института биологии УФАН СССР, 1963, вып.30. Свердловск. - 79 с.

14 Удобрения сапропелевые. Технические условия ТУ 2191 –092-00483470-93. МСХ Российской федерации. Владимир. 1993.

15 Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Куликов Н.В. Радиоэкологические исследования Белоярского водохранилища. - Свердловск: УрО АН СССР,1992. - 79 с.

16 Черняева А.Е., Черняев А.М., Еремеева М.Н. Гидрохимия озер.- Л., Гидрометеоиздат, 1977.- 335 с.

17 Чиркова Г.В. О методах концентрирования при изучении трития в природных водах. – Тр. Ин-та экспериментальной метеорологии. М., 1974. вып.3 (42). - С.1057.

18 Aarkrog A., Dahlgaard H., Frissel M., Foulqueir L., Kulikov N.V., Molchanova I.V., Mittenaere C., Nielsen S.P., Polikarpov G.G. and Yushkov P.I.- Sources of anthropogenic radionuclides in the Southern Urals// J. Environ. Radioactivity, 1992, v.15. - P. 69-80.

19 Karavaeva Ye.N., Kulikov N.V., Molchanova I.V., Pozolotina V.N., Yushkov P.I. Accumulation and Distribution of long – living radionuclides in the forest ecosystems of the Kyshtym-accident zone // The Science of the Total Environment. 1994. V. 157. - P. 147-151.

20 Lindberg G., Kaminski S., Greiner I., Wunderer M., Behrschmidt J., Schruder G. and Kress S. Interaction of dissolved radionuclides with organic matter in prealpine freshwater lakes.//Verh. Internat. Verein. Limnol. 25, Stutgart, September 1993. - P. 238-241.

ЗАПАС ЭНЕРГИИ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ ЖИВОТНОГО ОРГАНИЗМА

Б.В.Тестов

Пермский государственный университет

Давно известно, что животный организм получает энергию за счет окисления сложных органических соединений, поступающих в организм при потреблении пищи. Поэтому о количестве энергии, полученной организмом можно судить по количеству потребленных питательных веществ. Однако такой учет является достаточно трудоемким. Проще вести учет количества потребленного кислорода, который необходим для окисления сложных органических молекул. Эксперименты показали, что количество потребленного кислорода можно однозначно связать с количеством окисленных соединений и количеством свободной энергии, полученной организмом в процессе сгорания пищи. Изучению энергетики организма, зависимости потребляемой энергии от условий существования, половых и возрастных особенностей животных посвящено много работ отечественных и зарубежных авторов. Большой вклад в эти исследования внесены А.Д.Слонимом, Н.И.Калабуховым, Н.В.Башениной, П.А.Пантелеевым, В.Р.Дольником и другими авторами. Однако проблема энергетики далеко не исчерпана.

Известно, например, что иногда голодный человек может сделать гораздо большую работу, чем другой сытый, то есть получивший энергию в виде пищи. Количество съеденной пищи, а значит потребленного кислорода, нельзя однозначно связать с энергией, которую человек может при необходимости израсходовать. Следовательно, должен существовать запас энергии, которым располагает организм и который он может использовать для достижения поставленных целей или обеспечения собственной безопасности.

Величина запаса энергии в организме

Величину свободной энергии, получаемой организмом в процессе дыхания, определяют по количеству выделенной теплоты (прямая калориметрия) или по количеству потребленного кислорода (непрямая калориметрия). При этом исходят из того, что свободная энергия, получаемая клетками организма в процессе дыхания, расходуется на тепло и синтез макроэргов. Биохимиками точно установлено, какое количество макроэргов и тепла должно выделиться в процессе окисления того или иного субстрата. Поскольку запасать тепло и кислород организм не может, значит, выделенное тепло, и потребленный кислород могут служить надежным мерилом энергетики [1].

Однако следует учитывать, что часто организм расходует энергию, не совершая дыхания (плавание под водой), или затрачивает большую энергию в считанные секунды (реакция на внезапную опасность), за которые он не в состоянии увеличить интенсивность дыхания. Откуда организм берет энергию в этом случае?

Для этого в организме должен существовать запас энергии. Он имеется в клетках организма в виде макроэргов, наиболее известным представителем которых является аденозинтрифосфат (АТФ). Макроэрги обеспечивают энергией

все биохимические реакции, протекающие в клетках организма, поэтому расход их огромен. Следовательно, запас макроэргов на случай экстремальных ситуаций должен быть очень большим. По литературным данным в клетке человека в среднем содержится 10^9 молекул АТФ [2]. Это очень большое количество энергии организм запасает для обеспечения бесперебойного протекания биохимических реакций в любых экстремальных условиях [3].

Этот запас является своеобразным "банком", снабжающим энергией клетки органов и тканей по мере необходимости и возможности. Если существует большой спрос на дополнительную энергию, она направляется "банком" на обеспечение наиболее важных для организма функций. Так, в самые критические моменты обеспечивается энергией работа легких (дыхание), работа сердца (кровоток), работа выделительной системы. В то же время деление клеток организма, требующее больших энергетических затрат, в критические моменты (при облучении большими дозами радиации) на время задерживается.

В свою очередь, в любой удобный момент организм стремиться компенсировать (хотя бы частично) снижение запаса энергии. Все знают, что после окончания быстрого бега или тяжелой физической нагрузки организм некоторое время должен "отдышаться", "возвратить кислородный долг"[1]. Во время этого отдыха организм интенсивно дышит, получая в процессе окисления большое количество свободной энергии. Эта энергия не может расходоваться на теплопродукцию (после тяжелой работы в организме избыток тепла), следовательно, она затрачивается на синтез макроэргов, которые пополняют израсходованный ранее запас. Однако полное восстановление запаса возможно лишь после длительного отдыха.

Обычно после трудового дня запас макроэргов в организме существенно уменьшается и к вечеру человек чувствует упадок сил. Восстановление запаса макроэргов происходит во время продолжительного ночного сна. Во время сна организм дышит, хоть и менее интенсивно, а следовательно получает энергию, которая из-за сниженных затрат на теплопродукцию и работу расходуется в основном на синтез макроэргов. Поэтому после длительного отдыха человек значительно работоспособнее, что нашло отражение в пословице "утро вечера мудренее".

Изменение запаса энергии при старении

По-видимому наибольшим запасом энергии, под которым мы подразумеваем количество макроэргов на единицу веса, обладают новорожденные. Необходимость этого обусловлена беспомощностью новорожденного и возможными осложнениями при родах, в процессе которых рождающийся организм может надолго остаться без источника энергии. Кроме того новорожденному требуется большая энергия для быстрого роста организма, то есть для огромного количества биохимических реакций, сопровождающих деление клеток. Косвенно это подтверждается наибольшим удельным потреблением кислорода молодым организмом, что наблюдается при измерениях как на человеке, так и на животных [4,5]..Возрастные изменения, свидетельствующие об уменьшении жизненности, начинаются у человека и животных с момента рождения [6], однако на протяжении длительного времени этого не заметно. Длительное время человеческий организм поддерживает свой запас макроэргов на достаточно высоком уровне, поскольку вынужден расходовать много энергии на постоянное обновление клеток, на двигательную

активность на учебу и работу, на половое созревание и размножение. Однако постепенно человек замечает уменьшение мышечной силы. Одновременно начинают проявляться признаки старения, связанные с уменьшением эластичности кожи, снижением остроты зрения и слуха, уменьшением быстроты реакции, поседением и потерей волос, изменением кровяного давления и т.д. Достаточно четко это проявляется после 40 лет.

Поскольку все эти изменения проявляются примерно в одно время и однозначно связаны со старением организма, разумно искать одну физиологическую основу старения, на которую накладывается множество индивидуальных особенностей. Мы считаем, что такой основой может быть снижение запасов энергии в организме, которое развивается по мере снижения интенсивности деления клеток. Интенсивность деления клеток замедляется по мере снижения скорости роста, и затем устанавливается на уровне обеспечения регенерационных процессов. Снижение энергетики при снижении скорости роста несколько замедляется при достаточно большой двигательной активности или каких-либо физических нагрузках. Постоянные нагрузки могут способствовать поддержанию достаточно высоко запаса макроэргов в организме, но он при их прекращении наблюдается достаточно быстрая деградация организма. Невостребованность большого запаса макроэргов приводит к уменьшению запаса АТФ в организме. Это автоматически ведет к дальнейшему снижению энергообеспеченности организма и постепенному сокращению его физических и регенерационных способностей.

Один из признаков старения, как известно, увеличение частоты различных заболеваний. Старый человек, как правило, страдает множественными заболеваниями, о которых в молодости он и не подозревал. Когда старый человек умирает, часто очень трудно установить причину смерти, поскольку патологические изменения обнаруживаются во многих органах и тканях. По-видимому это является результатом общего ослабления организма, то есть недостатком энергии для проведения достаточного количества репарационных процессов.

В итоге старый организм имеет настолько низкий уровень запаса макроэргов, что не может выдержать сколько-нибудь значительной нагрузки, превышающей энергию макроэргов, образующихся в процессе малоинтенсивного дыхания. Старческий организм должен часто отдыхать, пополняя скудный запас макроэргов, не обеспечивающий энергией продолжительную работу мышц. Возможно гибель старого организма часто связана с нехваткой энергообеспечения для нормального протекания биохимических реакций при нагрузках или каких-то отклонениях в организме.

Реакция организма на травмирование и инфицирование

Обычно заболевший или травмированный человек обращается к врачу за медицинской помощью. При достаточно тяжелых состояниях пациента врач обычно назначает постельный режим и теплое питье. Такой режим способствует экономии запаса энергии больного, которая должна быть направлена на усиление репарационых процессов и борьбу с инфекцией.

При травмировании или инфицировании человека и животных в организме развиваются процессы требующие значительных энергетических затрат. При получении раны защитные силы организма должны удалить погибшие клетки и восстановить поврежденную ткань за счет клеточной регенерации. При

инфицировании организм мобилизует механизм иммунной защиты, которая должна распознать проникшие чужеродные антигены и выработать соответствующие антитела. Эти процессы требуют больших энергетических затрат, и пораженный организм может израсходовать почти весь запас энергии.

Для восстановления энергетики организм вынужден интенсифицировать интенсивность окислительных процессов, поэтому больные животные часто тяжело дышат, чувствуют слабость и неспособны к активным действиям. Дополнительные усилия в виде физической работы, охлаждения и интоксикации представляют значительную нагрузку для больных и ослабленных животных, которые в таком состоянии сильнее реагируют даже на небольшие изменения условий существования. Величина запаса энергии в организме при этом имеет большое значение для увеличения сопротивляемости организма. Не случайно дикие животные являются более устойчивыми к действию различных нагрузок по сравнению с лабораторными. Постоянная активность диких животных, связанная с добыванием пищи строительством убежищ и размножением, требует значительно большего запаса энергии, чем для животных, обитающих в условиях вивария.

При попадании в организм химических веществ возникают процессы, связанные с интоксикацией и выведением из организма токсических продуктов. Реакция организма в этом случае будет определяться количеством поступившего в организм химического вещества, но в любом случае организм должен пойти на определенные энергетические затраты. Если затраты небольшие, то это практически не будет сказываться на энергетическом статусе и поведении животных. При существенных энергетических затратах будет наблюдаться интоксикация, связанная с нарушением работы ферментов, расстройством процессов пищеварения, слабостью животных. Если интоксикация достаточно стойкая, обычно наблюдается расстройство пищеварительного тракта и организм не может переваривать пищу и получать энергию извне. Происходит питание за счет ресурсов организма и достаточно быстрое падение веса. Падение веса на 50% и более приводит чаще всего к гибели организма. В таких случаях быстрее погибают ослабленные животные, у которых запас энергии недостаточно высокий.

Энергетика животных

Поведение и образ жизни животных во многом определяются их энергетикой. Как известно, мелкие животные характеризуются повышенным уровнем метаболизма, то есть, потребляют значительно больше кислорода на г веса по сравнению с крупными. Это положение объясняют тем, что мелкие животные имеют большую теплоотдачу на единицу массы, по сравнению с крупными (правило Рубнера) [7]. Возможно это связано также с тем обстоятельством, что запас макроэргов в организме мелких животных существенно меньше, чем у крупных, и они больше зависят от энергии, получаемой непосредственно в процессе дыхания.

Крупные животные имеют значительно больше клеток, по сравнению с мелкими, и могут запасать значительно больше энергии. Это позволяет им меньше зависеть от энергии, получаемой непосредственно при дыхании, и пробегать значительно большие расстояния. В то же время крупные животные нуждаются в более длительном отдыхе, по сравнению с мелкими животными, который им необходим для пополнения запаса энергии. Такая энергетика позволяет мелким

животным быть очень подвижными, но обладать относительно небольшой выносливостью. Крупные же животные характеризуются относительно меньшей подвижностью, но, обладая большим запасом энергии, могут развивать большую скорость и покрывать большие расстояния.

Энергетическими проблемами объясняется впадение большого количества животных в зимнюю и летнюю спячку. Так, по данным Н.И.Калабухова из 103 видов наземных позвоночных, встречающихся зимой в пределах Орловщины, в спячку впадают около 35% [8]. Американский суслик за 8-месячный период спячки экономит в среднем 87,8% энергии. У малого суслика суточный расход энергии в активном состоянии составляет 50-147 ккал, а в период спячки только 1,8 ккал. [5]. Известно, что при недостатке питания лабораторные мыши могут впадать в оцепенение, которое возрастает по мере уменьшения веса, а значит величины запаса энергии. Энергетические закономерности лежат в основе известного правила Бергмана, согласно которому под влиянием пониженной температуры формируется увеличение общих размеров тела. Увеличение размеров тела ведет к увеличению запаса энергии, что позволяет крупным животным нормально функционировать при пониженных температурах. Регуляция энергетики при изменении условий существования легко осуществляется изменением поверхности теплоотдачи за счет изменения размеров выступающих частей, что хорошо отражает правило Аллена.

Важным способом регуляции температуры в убежище служит число входных отверстий, которые в холодное время года закупориваются земляными пробками. У мелких млекопитающих наблюдается групповая терморегуляция. Например сурки залегают в спячку иногда большими группами (в среднем 12 особей). У полевок рода Микротус молодые животные последнего помета часто остаются зимовать в одном гнезде с матерью [5].По нашим данным группа из 5 особей при 18°С потребляла кислорода на 1 г веса примерно на 30% меньше по сравнению с одиночными животными.

По-видимому тот факт, что зиму переживают преимущественно не размножавшиеся полевки связан с их меньшими энергетическими затратами в зимний период. Неполовозрелые животные как правило не агрессивны, что создает возможность для коллективного обитания в неблагоприятный зимний период. Это позволяет существенно сокращать затраты на теплопродукцию. Кроме того погибшие в силу тех или иных причин животные становятся пищей для остальных членов сообщества. Половозрелые животные слишком агрессивны для совместного обитания, и, живя по одиночке в зимний период, вынуждены расходовать значительно больше энергии, что может способствовать их гибели.

Энергетические зависимости могут проявляться, по-видимому, и при формировании внутрипопуляционных закономерностей. Известно, что различные фазы популяционного цикла животных характеризуются различными весовыми показателями популяции мышевидных грызунов. Так в фазу депрессии и начала подъема численности наблюдается ускоренное созревание сеголеток, животные созревают при гораздо меньших весовых показателях. В данном случае энергия направлена преимущественно на поддержание репродуктивного потенциала. В период пика численности наблюдается задержка полового созревания сеголеток и животные имеют существенно большие весовые показатели. То есть получаемая энергия в условиях переуплотненности направлена не у усиление репродукции, а на укрупнение животных.

Изменение энергетики при радиационном облучении

Согласно разработанной нами энергетической концепции, при облучении происходит гидролиз запаса макроэргов, величина которого пропорциональна дозе облучения [9]. При больших дозах облучения гидролиз большого количества АТФ приводит к выделению значительного количества тепла, избыток которого организм не в состоянии сбросить в окружающую среду. При этом в облученном организме возникает гипертермия, которая ведет к повышению температуры и тепловой инактивации клеток организма. По данным исследователей Томского университета, при затравке собак радоном температура внутренних органов увеличивалась на 3-5°C [10]. При этом одними из первых повреждаются митохондрии, в которых синтезируются молекулы АТФ. В результате после облучения клетки организма остаются без запаса макроэргов и с резко уменьшенным количеством функционирующих митохондрий. То есть клетки организма остаются без энергии, обеспечивающей биохимические реакции. Это ведет к задержке деления клеток до восстановления их энергетики.

Высокая радиочувствительность живых организмов обусловлена тем, что у них имеется огромный запас энергии в виде макроэргов, который под действием облучения переводится в тепло и является причиной повреждения организма. При этом наиболее радиочувствительными оказываются клетки и ткани с высоким уровнем метаболизма, которыми являются быстро делящиеся клетки.

Наиболее сильные повреждения организм получает при тотальном облучении, когда облучению подвергаются все клетки организма. При местном или локальном облучении, когда облучают часть организма, необлученные клетки делятся имеющимся у них запасом макроэргов с облученными, способствуя их более быстрому восстановлению. Поэтому отдельные органы и ткани могут выдерживать значительно большие дозы облучения по сравнению с целым организмом [11].

Многочисленными экспериментальными данными показано, что защита (экранирование свинцовыми пластинками) отдельных участков тела (особенно области живота и селезенки) приводит к выдерживанию животными значительно больших доз ионизирующего излучения. Экранирование отдельных участков тела снижает радиационное воздействие в 1,5-2 раза не только у мелких, но и у крупных животных при воздействии рентгеновского и гамма-излучения, протонов и нейтронов [12]. При этом защитный эффект экранирования зависит от количества и качества участков неповрежденных тканей, находящихся за экраном облучения. С позиций энергетической концепции этот факт объясняется сохранением в защищенных экраном тканях запаса макроэргов а также клеток, обладающих большим количеством митохондрий и активно продуцирующим макроэрги. Эти необлученные клетки снабжают макроэргами клетки с нарушенной энергетикой, облегчая ход восстановительных процессов. А нанесение травмы (точечного ожога на роговицу глаза) перед облучением ускоряет развитие дистрофического процесса, то есть усиливает развитие лучевого повреждения. [13]. Это свидетельствует, что облучение действует преимущественно на энергетику клеток.

Очень убедительным примером в этом отношении мы считаем данные А.Н.Студицкого о том, что предварительное травмирование повышает радиоустойчивость животных [14]. По его данным мышца, приведенная в пластическое состояние денервацией или механическим повреждением, приобретает значительную радиоустойчивость по сравнению с нетравмированной.

Сходные результаты были получены и на костной ткани [15]. Следует заметить, что это пластическое состояние и радиоустойчивость приобретались тканями через некоторое время после нанесения травмы. Возникшие за это время регенерационные процессы требовали больших энергетических затрат, результатом чего могло быть снижение запасов макроэргов и усиление пула активно функционирующих митохондрий в травмированных и окружающих тканях. В результате, травмированные ткани и весь организм становился более устойчивым к последующему облучению.

С позиций энергетической концепции должен существовать порог, разделяющий стимуляционный эффект при малых дозах облучения и поражающий эффект при больших величинах доз. Величина этого порога зависит от многих факторов и определяется величиной избыточного тепла, выделяющегося в тканях организма при облучении. При этом гипертермия организма должна приводить к усилению эффекта поражения, а гипотермия - к защитному эффекту. По данным А.М.Кузина величина порога зависит от организма и его физиологического состояния. А дозы меньшие на два порядка $ЛД_{50}$ вызывают уже противоположный по знаку эффект [16].

При действии небольших доз облучения (ниже этого порога) выделяющееся при облучении тепло будет приводить к небольшому повышению температуры и ускорению прохождения биохимических реакций. В результате мы должны наблюдать стимуляционные эффекты (гормезис). Переход к эффектам поражения при облучении должен наблюдаться когда количество тепла, выделившегося при облучении будет слишком большим и организм не сумеет его сбросить в окружающую среду. Тяжелее всего это сделать теплокровным животным, которые имеют наиболее мощный теплоизолирующий покров, защищающий их от излишней потери тепла. Поэтому организм млекопитающих является наиболее радиочувствительным.

Поскольку действие облучения организм воспринимает через дополнительный нагрев, то при хроническом облучении относительно небольшими дозами облучения возможна адаптация. Мы наблюдали такую адаптацию при хроническом облучении животных источником ^{137}Cs при мощностях доз 1,5-3 мГр/час. На 3 сутки после начала облучения животные (беспородные белые мыши) снизили потребление кислорода, которое нормализовалось после прекращения облучения. Эффект снижения потребления кислорода у диких животных, обитающих на радиоактивной территории ВУРСа был впервые зарегистрирован А.И.Ильенко, который назвал его гипооксигенией [17]. Мы считаем, что гипооксигения - физиологическая адаптация животных, которые воспринимают хроническое облучение как повышение температуры окружающей среды, что приводит к ответной реакции снижения потребления кислорода. По нашим данным эта реакция обратима и после снятия фактора хронического облучения гипооксигения исчезает.

Адаптация при действии хронического облучения возможна не только путем снижения потребления кислорода, но и за счет поведенческих факторов. Снижение температурного воздействия животные могут компенсировать путем перемещения в более влажный биотоп, за счет смещения активности на более холодное время суток, а также за счет изменения сроков линьки. По данным А.И.Ильенко у таких животных наблюдалось изменение сроков размножения [18].

Изменение поведения у животных, обитающих в условиях хронического облучения имеет важное значение для проведения полевых радиоэкологических

исследований. В настоящее время отсутствуют методы, позволяющие регистрировать реакцию животных, обитающих в условиях хронического облучения. Об этой реакции судят по изменениям в крови, биохимическим показателям и хромосомным аберрациям. Однако эти методы малопригодны для проведения в полевых условиях и довольно трудоемки. Поэтому внедрение методов, позволяющих связать поведение животных с реакцией на действие радиационного фактора в полевых условиях очень перспективно.

Определение запаса энергии в организме

Прямой метод определения запаса энергии в организме предполагает определение содержания адениловых нуклеотидов (АТФ, АДФ, АМФ) в клетках организма [19]. Прижизненно это сделать невозможно, поскольку необходима фиксация тканей жидким азотом и последующее выделение нуклеотидов. Поэтому следует использовать косвенные методы. Такие методы могут основываться на том, что организм старается поддерживать гомеостатическое состояние на оптимальном уровне, и при всяком изменении гомеостаза использует запас энергии для его сохранения. Так, он будет (насколько хватит сил) поддерживать оптимальную температуру тела при охлаждении или нагревании, убегать от опасности или сильного раздражителя, плавать, насколько хватит сил, при погружении в воду, ползти по канату, спасаясь от раздражителя.

Запас энергии в организме будет использоваться в том случае, если количество энергии, получаемое при дыхании, недостаточно для обеспечения выполняемой организмом функции. Поэтому при выполнении достаточно большой нагрузки организм увеличивает потребление кислорода, стараясь за счет энергии дыхания покрыть энергетические потребности организма. Если эти нагрузки слишком большие, то после израсходования запаса энергии "обессиленный" организм прекращает сопротивление. Запас энергии в этом случае определяется разницей между количеством энергии затраченной организмом на преодоление нагрузки и количеством энергии, полученной за счет дыхания организма.

В понятие запас энергии организма мы вкладывает примерно тот же смысл, что и А.И.Зотин в псиуфункцию, которую он определяет как разницу между энергией, получаемой организмом за счет дыхания, и расходами на теплопродукцию и работу [20]. При этом положительная псиуфункция будет соответствовать энергии, израсходованной организмом за счет запаса, а отрицательная псиуфункция соответствует энергии, израсходованной на пополнение запаса энергии.

Запас энергии может быть израсходован организмом в любой момент для выполнения любой функции и его можно охарактеризовать как меру устойчивости организма в экстремальных ситуациях. Этот запас организм должен иметь всегда на случай непредвиденных обстоятельств и пополняться при всяком удобном случае.

Уменьшение запаса энергии может характеризовать энергетическую напряженность организма, что ассоциируется с увеличением риска для жизнедеятельности организма. Поэтому величина запаса может быть важной характеристикой при изучении процесса адаптации животных к изменившимся экологическим условиям и изучении реакции животных на антропогенное загрязнение среды обитания.

При проведении экологических исследований часто проводят изучение энергетического баланса [21]. Подведение баланса основано на том, что в ходе метаболизма организм может за счет большего потребления пищи увеличивать массу или существовать за счет уменьшения массы при отсутствии пищи. Таким образом, на основе учета расхода энергии при совершении работы или каких-либо физиологических функций, можно выйти на их энергетические эквиваленты. Но этот энергетический эквивалент должен включать и резервный запас энергии, который должен иметься в организме на случай непредвиденных обстоятельств. Запас энергии в организме должен выполнять функции энергетического запаса прочности при возникновении чрезвычайных ситуаций.

В настоящее время определение запаса энергии в организме при экологических исследованиях возможно при сравнении данных прямой и непрямой калориметрии, то есть по разнице между энергией, израсходованной на теплопродукцию и полученной при дыхании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Физиология человека. Пер. с англ. под ред. П.К.Костюка.-М.: Мир,1986. Т.4.312 с.

2 Альбертс Б., Брей Д., Льюис Дж. и др Молекулярная биология клетки.Пер. с англ.-М.: Мир,1994 Т.1.517 с.

3 Иванов К.П. Кислородное голодание и температура тела -Л.: Наука, 1968. 136 с.

4 Bruck K. Temperature regulation in the newborn infant. -Biol.neonat., 1961.v3.p.65-119.

5 Пантелеев П.А. Биоэнергетика мелких млекопитающих. Адаптация грызунгв и насекомоядных к температурным условиям среды. - М.: Наука,1983. 271 с.

6 Лэмб М. Биология старения Пер. с англ.-М.: Мир,1980.206 с.

7 Ломов И.А. О законе поверхности Рубнера / Количественные аспекты роста организмов.-М.: Наука, 1975. С.181-184.

8 Калабухов Н.И. Спячка животных.-М.-Л.:Госиздат, 1936. 204 с.

9 Тестов Б.В. Энергетическая концепция действия радиации на живой организм // Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин. Под ред. А.В.Трапезникова, С.М.Вовка.- г. Заречный, 1998. Вып.1. С.170-182.

10 Пегель В.А., Докшина Г.А. Влияние радона на температуру внутренних органов животных / Мед. радиол., 1961. Т. 6. № 11. С. 54-58.

11 Радиация. Дозы, эффекты риск. Пер. с англ.-М.: Мир, 1990. С. 57-71.

12 Бурназян А.И. Основы радиобиологии и радиационной защиты.-М.:1977.48 с.

13 Стрелин Г.С. Регенерационные процессы в развитии и ликвидации лучевого повреждения.-М.: Медицина, 1978. 208 с.

14 Студицкий А.Н. Новый биологический принцип противолучевой защиты/ Докл. АН СССР, 1961.Т.141. № 4 С.976-979.

15 Студицкий А.Н., Попова М.Ф. Биологическая защита скелетно-мышечной ткани против поражения ионизирующей радиацией // Докл. АН СССР, 1962. Т.145. С198-201.

16 Кузин А.М. Природный радиоактивный фон и его значение в возникновении эволюции и существовании биосферы //Вопросы теоретической и прикладной радиобиологии (Материалы школы-семинара по радиобиологии. Пермь, 1988).- М.: Наука, 1990. С. 131-141.

17 Ильенко А.И., Крапивко Т.П. Гипооксигения в популяциях млекопитающих радионуклидофоров // Докл. АН СССР, 1988. Т. 300. № 6. С.1510-1511.

18 Ильенко А.И., Крапивко Т.П. Экология животных в радиационном биогеоценозе.-М.: Наука, 1989. 224 с.

19 Березов Т.Т., Сабурова Л.М., Селиванова Л.П., Климовицкая П.Л Определение адениловых нуклеотидов в тканях ишемизированных трансплантантов //Вопросы медицинской химии, 1973. Т.11.В.5 С.573-577.

20 Зотин А.И. Термодинамическая основа реакций организмов на внешние и внутренние факторы. - М.: Наука, 1988. 272 с.

21 Постников С.Н. Популяционные особенности поддержания энергетического баланса у некоторых воробьиных птиц // Экологическая энергетика животных: Сб. научных трудов.- Свердловск: УрО РАН, 1988. С.51-62.

ИЗОТОПНЫЕ ОТНОШЕНИЯ PU, U И NP В ОБРАЗЦАХ ПОЧВ ИЗ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА И ЗОНЫ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА

Т.М. Бисли[1], Дж.М. Келли[2], К.А. Орландини[3], Л.А. Бонд[2], А. Ааркрог[4], А,В. Трапезников[5], В.Н. Позолотина[5]

[1] - US Department of Energy, USA
[2] - Pacific Northwest National Laboratory, USA
[3] - Argone National Laboratory, USA
[4] - Risoe National Laboratory, Denmark
[5] - Институт экологии растений и животных УрО РАН

В последние годы в ряде работ были опубликованы данные по содержанию техногенных радионуклидов в почвах ядерного полигона бывшего СССР (ныне республика Казахстан) в Семипалатинске-21 и в непосредственной близости от него (Yamamoto и др., 1996 a, b). Представляет интерес сравнить изотопный состав трансурановых радионуклидов в почвах из Семипалатинского полигона, а также в почвах, отобранных на Южном Урале в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа. Уральские территории были существенно загрязнены: во-первых, во время аварии на производственном объединении Маяк в сентябре 1957; во-вторых, 1967 г. в результате ветрового переноса загрязненного ила и песка с берегов оз. Карачай, которое использовалось в качестве открытого хранилища радиоактивных отходов (Trabalka et al., 1980; Aarkrog et al., 1992, 1998).

Анализ информации об изотопном составе трансурановых радионуклидов в этих зонах имеет принципиально важное фундаментальное значение для радиоэкологии. Эти данные необходимы для интерпретации результатов изотопных измерений, сделанных в морях Арктического бассейна. Учитывая, что Семипалатинск-21 является территорией водосбора для р. Иртыша, впадающего в р. Обь, их водный сток может обогащать долгоживущими радионуклидами Северный Ледовитый океан. Кроме того, в ранний период деятельности ядерного комплекса «Маяк» радиоактивные отходы среднего уровня сбрасывались непосредственно в р. Течу. Последующая миграция радионуклидов в речной системе Теча – Исеть – Тобол – Иртыш - Обь показана нами ранее (Trapeznikov et al., 1993, Трапезников и др., 1999).

В настоящей работе изучены изотопные отношения трансурановых радионуклидов (Pu, U, Np) в почвах Южного Урала, загрязненных в результате аварийных ситуаций на ПО "Маяк", а также в почвах, отобранных в Семипалатинске-21 и его окрестностях. В совокупности эти данные обеспечивают информацию, необходимую для оценки вкладов трансурановых элементов, особенно изотопов Pu, поступивших из этих источников в окружающую среду, на фоне глобальных радиоактивных выпадений от испытаний ядерного оружия в Северном полушарии.

Материал и методика

В 1991 г. на Южном Урале в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа) вблизи деревни Мусакаево были отобраны послойно (толщина

слоя 5 см) образцы почвы (Ааркрог и др., 1998). В Семипалатинске-21 также послойно были взяты три почвенных керна (диаметр 8-9 см)на вершинах равностороннего треугольника (расстояние от центра – 3 м). Одинаковые по глубине слои были соединены и тщательно перемешаны (Shebell, Hutter, 1996).

Для анализа в обоих случаях использовали верхний 0-5 см слой почвы. Аликвоты из образцов были дополнительно перемешаны на ротаторе в течение 1 часа для повышения гомогенезации. Масс-спектрометрическое исследование проводили в Pacific Northwest National Laboratory, США. Поскольку оборудование в ней настроено на анализ образцов с низким содержанием в них актинидов, размеры аликвот были выбраны так, чтобы сохранить общее содержание в них этих элементов на уровне 10^{10} атомов на грамм. Сухая масса образцов составила от 1 до 3 г.

Образцы высушивали, озоляли при температуре 600°С в течение 16 часов, чтобы удались органический материал. Затем растворяли в смеси соляной и плавиковой кислот для разрушения кремниевого матрикса в почвах (оксалаты) и растворения некоторых тугоплавких элементов. Чтобы удалить остатки плавиковой кислоты, осадок после растворения выпаривали 3 раза с 6 Н соляной кислотой. Затем осадок нагревали в 6 Н соляной кислоте, содержащей борную кислоту до полного растворения следовых количеств редкоземельных и актинидовых фторидов. Последние растворы доливали до 50 или до 100 мл в мерных колбах, а затем использовали как исходные растворы для анализов.

Для оценки выхода определяемых элементов после процессов их выделения и очистки в растворы вносили метки, т. е. известные количества ^{244}Pu, ^{236}Np, ^{233}U (номинально 5x10^6 атомов). Подробно методика приготовления изотопных стандартов описана в работах (Beasley et al.,1997).

В Argone National Laboratory проводили дополнительно анализ образцов почвы из Семипалатинска-21, используя другую методику. Каждый образец обрабатывали трижды при нагревании (80-90°С) 6 Н соляной кислотой по 24 часа. Концентраты смешивали, выпаривали до 30 мл, затем центрифугировали при высокой скорости для отделения осадочных частиц материала. Полученный центрифугат переносили в 8 Н раствор HNO_3 для химического отделения актинидов. Концентрированный осадок растворяли в плавиковой кислоте и использовали как отдельный образец для определения фракции тугоплавких материалов в почве. Метки ^{242}Pu, ^{243}Am использовали, чтобы количественно оценить потери после химических процессов и последующей альфа-спектрометрии ^{241}Am, ^{238}Pu ^{239,240} Pu. Подробно данные химические процедуры описаны в работах (Nelson and Orlandini, 1986; Beasley et al., 1997).

Для характеристики точности измерений отметим, что в стандартах использованных в качестве метки, процесс очистки для Pu и Np, доведен до 10^4 атомов на образец, эта величина ниже уровня обнаружения для масс-спектрометра. В стандартах содержались следовые количества ^{234}U, ^{235}U, ^{238}U, но они были на 2-3 порядка величин ниже уровней, измеренных в самих образцах.

Для гарантии, что почвы из Мусакаево и Семипалатинска-21 не содержат ^{233}U и ^{244}Pu-, аликвоты исходных растворов были обработаны и проанализированы без добавления данных меток. При этом также не обнаружили определяемых уровней этих радионуклидов.

Кроме того, были проведены тесты на однородность образцов. Для этого подготовили аликвоты разного веса (1,9 и 2,59 г.) и проанализировали повторно, как описано выше. В таблице 1 приведены абсолютные количества трансурановых радионуклидов в исследованных образцах, а также атомные

отношения. Данные показывают небольшую разнородность двух образцов, в частности, это отмечено по ^{242}Pu. Однако степень неоднородности мала и не влияет на выводы, вытекающие из этих результатов.

Результаты и обсуждение

В таблице 2 представлены атомные отношения и абсолютные количества трансурановых радионуклидов, в образцах из Семипалатинска-21, отобранных на полигоне (основная зона) и в двух деревнях Акжар и Кайнар. На полигоне в период с 1949 по 1962 гг. было проведено 87 атмосферных и 26 поверхностных испытаний. Кроме того в технических зонах Г и Б (рис.1) было выполнено 346 подземных испытаний, которые продолжались вплоть до 1989 г. (Shebell, Hutter, 1996; Yamamoto et al., 1996).

Важно сравнить абсолютные количества $^{239,240}Pu$, ^{241}Am, а также отношение $^{238}Pu/^{239,240}Pu$ в образцах из разных мест отбора, выделенные в двух фракциях: растворимые в насыщенных кислотах и нерастворимые, оставшиеся в осадке после выщелачивания (табл.3). Как было показано в рядом авторов (Krey, Bogen, 1987) на полигоне в штате Невада трансурановые и другие радионуклиды могут стать очень тугоплавкими в условиях высоких температур при ядерных взрывах. Горные породы и почва, поднятые во время взрывов, могут сплавляться с испаряющимися компонентами оборудования и превращаться в трудно растворимые осадки. Этот феномен был обнаружен и для образцов из основной зоны полигона в Семипалатинске-21, где более 90 % $^{239,240}Pu$ и ^{241}Am представлено в форме, устойчивой к обработке концентрированными кислотами. В образцах из Акжара и Кайнара большая часть $^{239,240}Pu$ и ^{241}Am была растворима при кислотном выщелачивании.

Аликвоты почвенного образца из основной зоны полигона в Семипалатинске-21 были проанализированы в двух разных лабораториях: в Pacific Northwest National Laboratory и в Argone National Laboratory. В первой использовали метод термальной ионизационной масс-спектрометрии и оценили содержание $^{239,240}Pu$ в образце, равном 134 Бк/кг. Во второй лаборатории концентрация $^{239,240}Pu$ в том же образце была оценена как 1360 Бк/кг. Убедительно показано, что эти различия (в 10 раз) не являются ошибками взвешивания или растворения. Более вероятно, что различия связаны с присутствием в образце микрочастиц Pu (чистого Pu, PuO_2 или высокообогащенного сплавленного кристаллического материала). Например, присутствие одной сферической частицы тугоплавкого PuO_2 диаметром 3 мкм (г=11.46 г/см^3) (CRC, 1991) в 0,2 г почвенного образца может создавать при полном растворении активность примерно 1720 Бк/кг. Поскольку источники трансурановых элементов в Мусакаево и Семипалатинске-21 различаются, результаты анализа образцов из этих мест лучше обсудить по отдельности.

Таблица 1

Масс-спектрометрическое определение концентраций и изотопных отношений радионуклидов в почве (слой 0-5 см), загрязненной в результате Кыштымской аварии 1957г.

Атомное отношение ± σ[a]						
	$^{236}U/^{239}Pu$ (10^0)[c]	$^{237}Np/^{239}Pu$ (10^0)	$^{240}Pu/^{239}Pu$ (0^0)	$^{241}Pu/^{239}Pu$[b] (10^3)	$^{242}Pu/^{239}Pu$ (10^{-4})	
Аликвота 1[d]	0.312±0.009	0.0717±0.0025	0.0283±0.0001	0.226±0.008	0.798±0.034	
Аликвота 2[e]	0.311±0.009	0.0737±0.0033	0.0281±0.0001	0.235±0.005	0.632±0.019	
Концентрация ± σ, атом/г						
	^{236}U[f] (10^{10})	^{237}Np (10^{10})	^{239}Pu (10^{11})	^{240}Pu (10^9)	^{241}Pu (10^7)	^{242}Pu (10^7)
Аликвота 1[d]	5.28±0.12	1.21±0.04	1.69±0.03	4.78±0.08	3.82±0.14	1.35±0.09
Аликвота 2[e]	4.87±0.12	1.15±0.03	1.57±0.02	4.40±0.06	3.68±0.10	0.99±0.08

Примечание:

[a] - Стандартное квадратичное отклонение "σ" у атомных отношений меньше, чем у атомных концентраций, поскольку вариабельность последних зависит от оценки выхода при анализе изотопов.

[b] -Величины даны с учетом распада на 1 января 1995г.

[c] - Каждая величина должна быть увеличена в 10 раз, чтобы получить измеренные изотопные отношения.

[d,e] - Величины показывают репрезентативные средние значения из двух повторных анализов как для изотопных отношений, так и для концентраций.

[f] - Концентрация $^{236}U = (5.28 \pm 0.12) \times 10^{10}$ атом/г.

Таблица 2

Масс-спектрометрическое определение концентраций и изотопных отношений радионуклидов в почве (слой 0-5 см), отобранной на Семипалатинском испытательном полигоне и в непосредственной близости от него

	Атомное отношение ± σ[a]					
	$^{236}U/^{239}Pu$ (10^0)[c]	$^{237}Np/^{239}Pu$ (10^0)	$^{240}Pu/^{239}Pu$ (10^0)	$^{241}Pu/^{239}Pu$[b] (10^{-3})	$^{242}Pu/^{239}Pu$ (10^{-4})	
Опытное поле	0.0244±0.0009	0.0208±0.0013	0.0438±0.0001	0.499±0.008	0.789±0.026	
Акжар	0.0654±0.0066	0.1129±0.0038	0.0685±0.0004	0.944±0.029	7.93±0.23	
Кайнар	0.188±0.020	0.288±0.011	0.1026±0.0007	1.184±0.044	17.15±0.39	
	Концентрация ± σ, атом/г					
	^{236}U (10^9)	^{237}Np (10^9)	^{239}Pu (10^{11})	^{240}Pu (10^9)	^{241}Pu (10^7)	^{242}Pu (10^6)
Опытное поле	3.09±0.10	2,63±0.16	1,27±0.03	5,52±0.11[e]	6,34±0.20	9,68±0.72
Акжар	0.064±0.006	0.110±0.003	0,0097±0.0002	0,067±0.001	0,092±0.003	0,77±0.03
Кайнар	0.069±0.007	0.106±0.001	0,0037±0.0001	0,038±0.006	0,044±0.002	0.63±0.02

Примечание:

[a] - Стандартное квадратичное отклонение "σ" у атомных отношений меньше, чем у атомных концентраций, поскольку вариабельность последних зависит от оценки выхода при анализе изотопов.

[b] - Величины даны с учетом распада на 1 января 1995г.

[c] - Каждая величина должна быть увеличена в 10 раз, чтобы получить измеренные изотопные отношения.

[d] - Образец взят в 1,1 км южнее Опытного поля.

[e] - Абсолютная активность $^{239,240}Pu$ в этом образце по расчетам составляет 134 Бк/кг.

Таблица 3

Концентрации и атомные отношения некоторых радионуклидов в почвах Семипалатинского испытательного полигона

Место отбора	Сухая масса,г	$^{239+240}Pu$ (Bq kg^{-1}) (L)[a]	$^{239+240}Pu$ (Bq kg^{-1}) (R)[b]	^{241}Am (Bq kg^{-1}) (L)	^{241}Am (Bq kg^{-1}) (R)	^{238}Pu / $^{239+240}Pu$ (L)	^{238}Pu / $^{239+240}Pu$ (R)
Опытное поле	0,2	64±(1)[d]	1295±(0.05)	7.3±(0.05)	70±(0.03)	0.020±0.002	0.037±0.001
Акжар	5,0	0.55±(9)	1.3±(3)	0.17±(20)	0.17±(9)	0.029±0.005	0.020±0.003
	0,5	0.42±(12)	0.47±(11)	-	-	0.020±0.010	0.020±0.010
	0,5	0.50±(7)	0.55±(9)	0.19±(18)	0.23±(37)	0.040±0.010	0.030±0.010
Кайнар	5,0	0.57±(12)	0.28±(6)	0.23±(14)	0.02±(22)	0.031±0.005	0.050±0.007
	0,5	0.67±(5)	0.17±(10)	0.25±(14)	0.08±(20)	0.060±0.010	0.060±0.020

Примечание:

[a] - Раствор после кислотного выщелачивания.

[b] - Осадок после кислотного выщелачивания.

[c] - В круглых скобках указана ошибка измерения в %.

[d] - Не определяли.

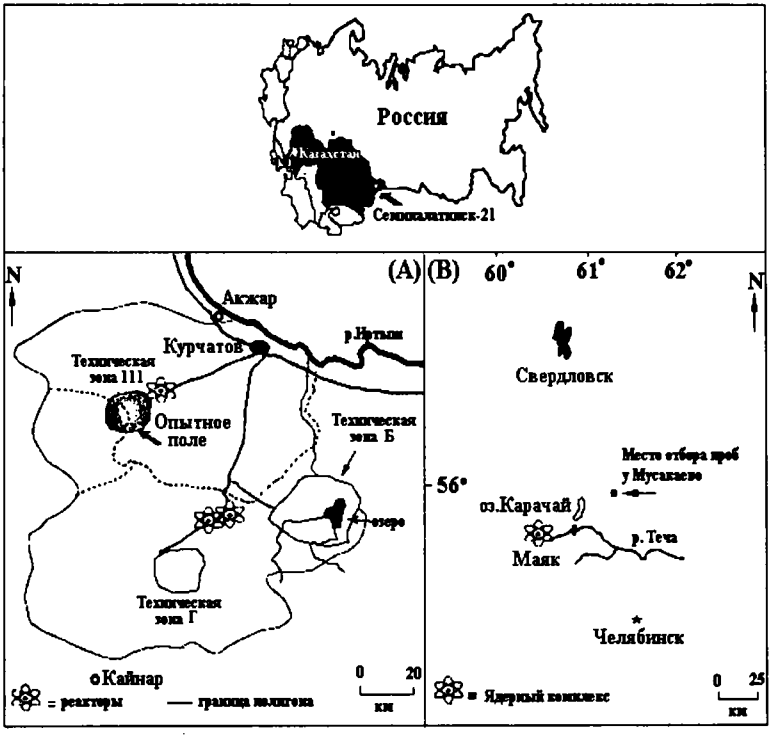


Рис.1 Места отбора проб на Семипалатинском испытательном полигоне и в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа

Мусакаево

Анализ результатов убеждает, что трансурановые радионуклиды в почвах из Мусакаево почти исключительно являются результатом переработки низко выгоревших реакторных топливных элементов. Это очевидно из следующих фактов: концентрации атомов ^{237}Np повышены относительно ^{236}U и ^{239}Pu. Например, сечения тепловых нейтронов для реакции ^{235}U (нейтрон, гамма) в ^{236}U; ^{236}U (нейтрон, гамма) в ^{237}U; ^{237}U (нейтрон, гамма) в ^{238}U составляют 100, 5 и 400 барнов (барн-единица эффективного поперечного сечения процессов столкновения атомных или ядерных частиц; 1 барн = 10-24 см^2 или 10-28 м^2) соответственно (Lederer and Shirley, 1978); распад ^{237}U до ^{237}Np происходит путем испускания бета-частиц с периодом полураспада 6,75 дней. В результате, концентрация ^{237}Np в низко выгоревшем топливе не выражена, потому что: 1) время облучения, использованное для производства плутония с высокой концентрацией ^{239}Pu непродолжительно (низкие отношения Pu-240/ Pu-239); 2) трансформация ^{237}U в потоке тепловых нейтронов реактора существенна; 3) обогащение ^{235}U в топливе, использованном для производства Pu, было невысоким, менее 1% для графитовых реакторов (Gerber, 1993).

Кроме того, для реактора, сжигающего естественное урановое топливо, (реакторы графитового типа ORIGN 2) прогнозируется, что когда атомное отношение $^{240}Pu/^{239}Pu$ возрастает до 0,028 (см. табл. 1) отношение $^{237}Np/^{239}Pu$ приближается 0,003 (Croft,1980). Измеренное нами атомное отношение $^{237}Np/^{239}Pu$ в Мусакаево равно 0,073 (табл.1), т.е. превышает эту величину более чем в 20 раз.

Можно предполагать, что высокое содержание ^{237}Np, которое мы обнаружили в почвах Мусакаево, обусловлено обогащением отходов этим изотопом при последующей переработке ТВЭЛОВ и химическом восстановлении Pu и U на предприятиях МАЯКа. Аналогичным образом на производственных реакторах в Ханфорде, Вашингтон, (общее количество 9) было переработано приблизительно $1x10^5$ тонн уранового топлива в период с 1944 по 1987 г. (DOE,1996). Восемь производственных реакторов были закрыты в 1971 г., последний реактор закрыт в 1987 г. Из всего произведенного уранового топлива только $1,5x10^3$ тонн U (большей частью от первых восьми реакторов) хранятся в спецхранилищах в виде высокоактивных отходов. Следовательно, 98 % U из облученного топлива было восстановлено. Полагая столь же высокий процент восстановления U в облученном топливе, произведенном на предприятии МАЯК, можно объяснить высокие атомные концентрации ^{237}Np (относительно U) в хранящихся отходах.

Однако также возможно, что высокоактивные отходы, выброшенные во время Кыштымской аварии 1957 г. содержали не только отходы от производства низко выгоревшего уранового топлива, используемого для производства Pu военного назначения ($^{240}Pu/^{239}Pu$ отношение = 0,028; табл.1), но также некоторые дополнительные отходы от производства топлива, сильно обогащенного ^{235}U. Такое топливо предназначено для использования в энергетических реакторных установках судов. Сердцевины реакторов с высоким обогащением ^{235}U (более 50 %) продуцируют повышенные уровни ^{236}U и ^{237}Np с поглощением быстрых нейтронов в ^{238}U (^{238}U (n, 2n)) ^{237}U, сечение примерно 0,1 барн; (Soodak, 1958). Исследования по оснащению военных судов ядерными реакторами начались в 1953 г. и первая атомная субмарина была спущена на воду в 1958 г. (Cochran et al., 1989). Следовательно, в этот период, производство топлива для

экспериментальных реакторов было количественно меньше, чем производство оружейного плутония, но этот источник существовал еще до 1957 г.

К 1 января 1995 г. в почвах Южного Урала в результате радиоактивного распада изменилось среднее отношения $^{241}Pu/^{239}Pu$ до 0,000231 (см. табл. 1). Период полураспада ^{241}Pu равен 14,4 лет, следовательно, 29 сентября 1957 г., во время аварии на МАЯКЕ отношение было 0,00138 или 0,0014. Мы можем сравнить атомные отношения с ранними измерениями, сделанными на полигоне в штате Невада (1951) после испытания ядерных устройств мощностью от 1,2 до 31 кТонн (Hicks and Barr, 1984). В этом случае среднее атомное отношение $^{240}Pu/^{239}Pu$ было равно 0,031+0,006 (для почвы из Мусакаево оно составило 0,0283, см. табл.2). В настоящее время отношение $^{241}Pu/^{239}Pu$ должно быть 0,0010+0,0001, что хорошо согласуется с нашей расчетной величиной для почвы из Мусакаево. Поскольку изотопные отношения Pu в низкопродуктивных ядерных реакциях изменяются незначительно (флуктуации тепловых нейтронов небольшие), это сравнение подтверждает сходство топливных циклов США и СССР в начале и середине 50-х годов.

Вклад изотопов Pu от аварии на ПО МАЯК в почву вблизи Мусакаево оценивается приблизительно в 96% (Aarkrog et al, 1998). Данные проведенного изотопного анализа показывают, что эта фракция может быть выше, до 97-98%.

Графитовые реакторы, использующие естественный или низко обогащенный ^{235}U в качестве топлива производят отношение $^{242}Pu/^{239}Pu$ близкое к 0,00002, тогда как отношение $^{240}Pu/^{239}Pu$ достигает величин между 0,02 и 0,03 (Croft, 1980). Измеренное нами отношение $^{242}Pu/^{239}Pu$ в образце из Мусакаево в среднем близко к 0,00007 (табл.1). Величина эта выше, чем ожидалось, поэтому можно предположить дополнительный источник Pu. В настоящее время по последним данным отношение $^{242}Pu/^{239}Pu$ в суммарных глобальных выпадениях на 55^0 северной широты примерно составляет 0,0041+0,0006 (Beasley, 1997). Таким образом, достаточно добавить 1,5 % плутония от глобальных выпадений в наш образец из Мусакаево, чтобы обеспечить излишек ^{242}Pu, который мы обнаружили сверх ожидаемого.

Представляет интерес сравнение измеренного нами отношения $^{240}Pu/^{239}Pu$ из зоны аварии на ПО "Маяк" с теми, что измерены рядом авторов (Smidth et al., 1995) в грунте залива "Черная" в Северном Ледовитом океане, в месте проведения нескольких подводных испытаний с низким выходом в 50-е годы. В этих грунтах отношения $^{240}Pu/^{239}Pu$ и $^{241}Pu/^{239}Pu$ равны 0,030 и 0,0012 соответственно, позднее эти отношения было уточнены с учетом радиоактивного распада, происшедшего с 1957, времени когда испытание было проведено. Оба изотопных отношения удовлетворительно сравнимы с отношениями, обнаруженными в отходах ПО "Маяк" (поправка на распад к 29 сентября 1957 г. учтена), это является аргументом в пользу того, что атомы Pu в этих грунтах подвергались воздействию потоков тепловых нейтронов уже после обработки во время их производства.

Серьезную проблему представляет оценка вклада ^{236}U, ^{237}Np и изотопов Pu в почву вблизи с. Мусакаево, поступивших в результате ветрового переноса с берегов оз. Карачай, потому что в открытых публикациях не указывается изотопный состав трансурановых элементов в воде озера Карачай или в грунтах побережья на время этого события.

Семипалатинск-21

На рис. 2 показана связь, которая была обнаружена между изотопами Pu и ^{237}Np в Семипалатинске-21, а также в Акжаре и Кайнаре. Для полноты сравнения здесь же приведены данные для почвы из Мусакаево и изотопные отношения для почв из Семипалатинска-21, указанные в отчете Yamamoto et al. (1996 b). Анализ совокупных результатов позволяет заключить, что Pu, измеренный в почвах Акжара и Кайнара, является смесью изотопов Pu, выброшенных во время взрывов на полигоне в Семипалатинске-21, а также интегрированных глобальных выпадений; данные представлены на рис. 2 А (точечная линия). Используя уравнения, описанные в работе (Krey et al., 1976), изотопные данные из табл. 2, а также концентрации радионуклидов, трансформированные с учетом периодов полураспада ^{239}Pu и ^{240}Pu (2,4119 104 и 6,564 10^3 лет соответственно), мы рассчитали, что фракция Pu в Акжаре составляет примерно 76%, в то время как в Кайнаре-48%.

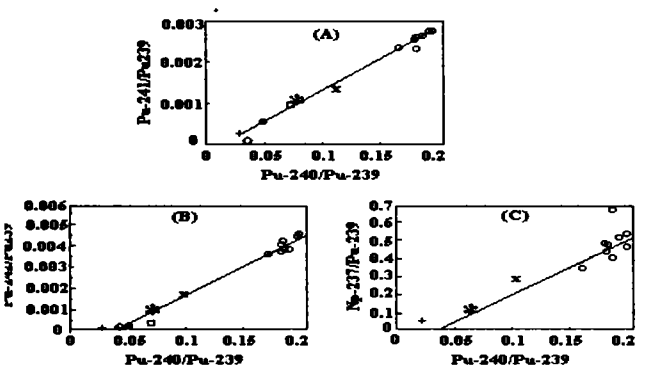


Рис.2 Изотопные отношения трансурановых радионуклидов, выделенных из почвенных образцов зоны ВУРСа и СИПа

± ВУРС (Мусакаево); •-Опытное поле; *-Акжар; x – Кайнар; ? - Опытное поле ; - Балопан(Yamamoto et al,1996)

Наблюдаемое повышение содержания ^{237}Np в Мусакаево (С) произошло вследствие обогащения этим изотопом отходов ПО "Маяк", в то время как в Кайнаре аналогичное повышение наиболее вероятно является следствием выброса осколков деления U, что также привело к повышению концентрации ^{236}U в этом месте.

Величины, характеризующие интегральные глобальные выпадения "О", взяты из измерений, сделанных в Аликвоте из 30см-слоя почвы, отобранном в 1970г в Рейкьявике (Ирландия), в Осло и Бергене (Норвегия), в Роскильде (Дания), в Барроу, Палмере, Огненной Земле (Аляска), как представлено в работе Beasley et.al., 1977. Добавки к линии (.....) (А), характеризующей почвы из Мусакаево показывает, что Pu в их составе был произведен для военных целей, продукты его деления обнаружены на Семипалатинском испытательном полигоне.

Повышенное атомное отношение $^{237}Np/^{239}Pu$, которое мы наблюдали в Кайнаре, обусловлено, вероятно, присутствием в этом месте повышенного выпадения в от взрыва устройства на основе ^{235}U. К этому заключению приводит и тот факт, что полностью содержание всех изотопов Pu в Кайнаре ниже, чем в Акжаре. Атомные концентрации ^{236}U и ^{237}Np фактически идентичны на обеих площадках, что и приводит к повышенным атомным отношениям $^{236}U/^{239}Pu$, $^{237}Np/^{239}Pu$.

Отношение $^{241}Pu/^{239}Pu$, измеренные Ямамото и соавторами в почвах из эпицентра взрыва, ниже установленной нами усредненной линии. Однако изотопные отношения, полученные в кратере воронки (Техническая зона Б, рис.1) близко идентичны тем, что мы измерили в Акжаре.

В таблице 4 показано сравнение уровней активности изучаемых актинидов, которые мы измерили в Семипалатинске-21 и тех, что представлены Ямамотой с соавторами (1996 а). Во всех случаях заметны значительные различия. Мы думаем, что это несоответствие результатов объясняется: во-первых, различиями в запасах выпадений вокруг места испытаний, во-вторых, различиями в глубине отбора почвенных образов, в-третьих, неоднородностью распределения самих радионуклидов в почвах. Образцы из основной зоны брали на глубину только 0-3 мм, а образцы из кратера воронки захватывали 5 см - почвенный горизонт (Yamamoto et al., 1996 a). Более низкая специфическая активность, измеренная нами в «основной» зоне (табл.4), наиболее вероятно связана с включением в большом процентном соотношении слабозагрязненной почвы (нами отобран слой 0-5см), и/или за счет включения нескольких "горячих частиц" в образцах, отобранных другими исследователями. Следует учитывать, что за более чем 40-летний период произошли естественные процессы перераспределения поверхностного материала в глубину, как это было показано во многих радиоэкологических исследованиях окружающей среды. По этой причине отбор образцов до глубины 0-5 см. почвенного керна, обеспечивает более репрезентативные данные, чем отбор только миллиметровой глубины, особенно при проведении изотопных анализов. Две базы данных свидетельствуют, что в будущем при изучении радионуклидных запасов в местах испытаний необходимо проводить отбор проб с учетом географической неоднородности распределения выпадений, глубины их миграции самое меньшее в слое 0-10 см. Кроме того нужно добиваться полного растворения почвенных образцов для выделения тугоплавких радионуклидов.

Данные по измерению ^{238}Pu, $^{239+240}Pu$, ^{241}Am, представленные в табл. 3, совпадают с заключениями, сделанными другими авторами. Ни в одном случае мы не наблюдали отношения $^{238}Pu/^{239+240}Pu$ (примерно 0,45) выше, чем те, что установлены Ямамото и др. (1996 а) в кратере воронки. До некоторой степени установленные нами отношения $^{238}Pu/^{239+240}Pu$ совпадают с оценкой вклада делящихся материалов, внесенных в северное полушарие в результате испытаний оружия в середине 1960-х годов (Krey, 1967). Эти отношения также совпадают с теми, что были измерены вне зоны полигона Ямамото и др. (1996 а). Активности ^{239}Pu, ^{240}Pu, который мы измерили как в Акжаре, так и в Кайнаре указывают на присутствие тугоплавкого Pu на полигоне. Однако, в то время как мы наблюдаем тугоплавкий ^{241}Am в почвах Акжара, этот элемент в почвах Кайнара был полностью растворим в концентрированных кислотах. В настоящее время мы не имеем убедительного объяснения для этого наблюдения.

Таблица 4

Сравнение содержания ^{237}Np $^{239,240}Pu$, ^{241}Am в почвах, отобранных на Семипалатинском испытательном полигоне, вблизи Опытного поля

^{237}Np Бк/кг		$^{239,240}Pu$ Бк/кг		^{241}Am Бк/кг	
Yamamoto et.al.	Данная работа	Yamamoto et.al.	Данная работа	Yamamoto et.al.	Данная работа
75.9 ± 3.2[c]	0,027 ± 0,002	27900 ± 400	1359 ± 1	520 ± 10	77 ± 0,06

Примечание:
[a] - Образцы, проанализированные в данной работе, отобраны в 1,1 км от Опытного поля, в то время как Yamamoto et.al. провели отбор непосредственно в эпицентре Опытного поля.
[b]- Величина суммирует данные табл.3, т.е. указано содержание изотопа как в растворе, так и в осадке после кислотного выщелачивания.

Заключение

Исходя из данных об изотопном составе радионуклидов, представленных в данной работе, можно предполагать, что ранние сбросы плутония из ядерного комплекса "Маяк" (1950-1960) наилучшим образом характеризуются отношением $^{240}Pu/^{239}Pu$ равным 0,28. Мы рекомендуем использовать эту величину в расчетах по оценке плутония в образцах из окружающей среды, если известно, что они имеют вклад трансурановых элементов от ПО "Маяк", а также содержат интегрированные глобальные выпадения (в которых отношение $^{240}Pu/^{239}Pu$ равно 0,18). Для образцов, содержащих выбросы от испытаний в Семипалатинске-21, рекомендуется использовать отношение $^{240}Pu/^{239}Pu$ равное 0,044. Добавим, что при анализе выбросов из этого источника необходимо использовать сложные химические технологии и выделять в образцах тугоплавкий Pu.

Фундаментальное значение данной работы определяется фактом обнаружения ^{236}U и ^{237}Np в зоне воздействия ПО "Маяк" и в Семипалатинске-21. В совокупности с установленными концентрациями изотопов Pu эти результаты могут быть полезными в отслеживании переноса трансурановых радионуклидов от этих мест в ближайшие речные системы. Например, в 1993 г. был обнаружен ^{236}U в образце воды, отобранной в р. Оби выше г. Салехарда (примерно $1x10^8$ атомов на 1 л.) (Beasly, 1997). Это подтверждает наличие источников данного радионуклида в верховье речной системы. Представляет интерес выяснить, является ли источником этих радионуклидов сброс от ПО «Маяк» или от предприятия «Томск-7», или от Семипалатинска-21, или это комбинация всех трех источников. Кроме того, нельзя полностью исключить поступление растворимых ^{236}U и ^{237}Np (а также других растворимых радионуклидов) в грунтовые воды от подземных испытаний ядерного оружия в Технической зоне "В" в Семипалатинске-21 с последующим переносом их в р. Иртыш.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Позолотина В.Н., Юшков П.И., Михайловская Л.Н. Закономерности поведения радионуклидов в пойменных ландшафтах реки Течи на Урале // Экология. 1994. № 3. С. 43-49.

2 Aarkrog, A., Dahlgaard, H., Frissel, M., Foulquier, L., Kulikov, N.V., Molchanova, I.V., Myttenaere, C., Nielsen, S. P., Polikarpov, G.G. and Yushov, P.I. Sources of anthropogenic radionuclides in the Southern Urals // Journal of Environmental Radioactivity 1992. Vol. 15. Pp. 69-80.

3 Beasley, T.M., Kelley, J.M., Maiti, T.C. and Bond, L.A. $^{237}Np/^{239}Pu$ atom ratios in integrated global fallout: A reassessment of the production of ^{237}Np // Journal of Environmental Radioactivity. 1997.

4 Cochran, T., Arkin, W., Norris, R. and Sands, J. Nuclear Weapons Data Book / / Vol. 4, Soviet Nuclear Weapons, National Defense Council, New York, NV. 1989. 424 pp.

5 CRC Handbook of Chemistry and Physics, ed. D. R. Lide, 72nd Ed (1991-1992). CRC Press, Boca Raton, FL. 1991.

6 Croff, A.G. A revised and updated version of the Oak Ridge isotope generation and depletion code // Oak Ridge National Laboratory Report, ORNL-5621, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, 5285 Port Royal Rd., Springfield, VA 22161. 1980. 62 pp.

7 Hicks, H.G. and Barr, D.W. Nevada Test Site fallout atom ratios: $^{240}Pu/^{239}Pu$ $^{241}Pu/^{239}Pu$ // University of California Radiation Laboratory (UCRL)Report 53499/1. National Technical Information Service, US Department of Commerce, 5285 Port Royal Rd., Springfield VA 22161. 1984. 5 pp.

8 Khotuleva, M. V., Chechetkin, V. A. and Melnichenko, N. A. Radioactive contamination of Russia's Techa River // Environmental Science and Technology 1993. Vol. 27. Pp. 606-607.

9 Krey, P.W. Atmospheric burnup of a plutonium-238 generator // Science. Vol. 158. Pp.1967769-771.

10 Krey, P.W. and Bogen, D.C. Determination of acid leachable and total plutonium in large soil samples. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 1987. Vol. 115. Pp. 335-355.

11 Krey, P.W., Hardy, E.P., Pachucki, C., Rourke, F., Coluzza, J. and Benson, W.K. Mass isotopic composition of global fall-out plutonium in soil. In Transuranium Nuclides in the Environment. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria. 1976. Pp. 671-678.

12 Lederer, C.M. and Shirley, V.S. Table of Isotopes, 7th Edn. Wiley New York. 1978.

13 Nelson D.M. Orlandini K.L. The role of natural dissolved organic compounds in determining the concentration of americium in natural waters // Special of Fission and Activation Products in the Environment, eds Bulman R.A., Cooper J.R. Elsevier Applied Science Publishers. London. 1986. Pp. 262-268.

14 Shebell P., Hutter A. Environmental radiation measurements at the Former Soviet Union's Semipalatinsk-21 nuclear test site and surrounding villages // US Department of Energy Report EML-584, National Information Technical Service, Department of Commerce, 5285 Port Royal Rd., Springfield, VA 22161. 1996.

15 Smith J.N., Ellis K.M., Naes K., Dahle S., Matishov D. Sedimentation and mixing rates of radionuclides in Barents Sea sediments of Novaya Zemlya // Deep-Sea Research II. Vol. 42, 1995. Pp. 1471-1493.

16 Soodak H. Nuclear data. // Nuclear Engineering Handbook, ed, Etherington H. 1st Edn. McGraw-Hill, 1958. New York. Pp. 2-7.

17 Trabalka J.R., Eyman L.D., Auerbach S.I. Analysis of the 1957-1958 Soviet nuclear accident // Science. Vol. 209. 1980. Pp. 345-353.

18 Trapeznikov A.V., Pozolotina V.N., Chebotina M.Ya., Chukanov V.N., Trapeznikova V.N., Kulikov N.V., Nielsen S.P., Aarkrog A. Radioactive contamination of the Techa River, the Urals //Health Physics. 1993 Vol. 65, Pp. 481-488.

19 Yamamoto M., Tsukatani T., Katayama Y. Residual radioactivity in the soil of the Semipalatinsk-21 nuclear test site in the former USSR // Health Physics. 1996a Vol. 71, Pp. 142-148.

20 Yamamoto M., Tsumura A., Katayama Y. Tsukatani T. Plutonium isotopic composition in soil form the former Semipalatinsk-21 nuclear test site // Radiochimica Acta. 19966 Vol. 72, Pp.209-215.

ВОДОТОКИ ШТОЛЕН ГОРНОГО МАССИВА ДЕГЕЛЕН: РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ И ПРОБЛЕМА РЕАБИЛИТАЦИИ

М. А. Ахметов, Л. Д. Птицкая, В. А. Синяев*
Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан
* Институт химических наук НАН РК, Алматы, Казахстан

В период проведения подземных ядерных взрывов в штольнях горного массива Дегелен, продолжавшегося три десятилетия, его территория подверглась антропогенному воздействию. С 1961 по 1989 годы здесь было произведено более 200 ядерных взрывов [1]. В настоящее время зафиксировано около 30 штолен, которые имеют водопроявления, часть из них имеет сезонный характер. В пределах русел и пойм обнаружены участки значительного радиоактивного загрязнения. Вынос радионуклидов продолжается и в настоящее время.

Введение

Дегелен представляет собой гранитоидный горный массив, возвышающийся над окружающей местностью на высоту до 500 м с абсолютными отметками вершин более1000 м. В горном массиве берут начало водные системы многих ручьев, наиболее значимыми из которых являются: Карабулак – со стоком преимущественно в северном направлении, Байтле и Тахтакушук – в южном, Узынбулак – в юго-восточном направлении. Наиболее крупным ручьем является Узынбулак.

Уровень грунтовых вод в межгорных долинах находится на глубине до 2-6 м, за пределами горного массива этот уровень понижается до 10-12 м.

В гидрогеологическом отношении горный массив представляет собой зону транзита атмосферных осадков, которые совместно с региональными подземными водами образуют трещинные воды. Подземные воды часто выходят на поверхность в виде родников. Из десяти обследованных родников 5 имеет водный дебит менее 1 л/мин, 3 – от 1 до 2 л/мин, 2 – от 2 до 3 л/мин. В период обильных осадков дебит родников увеличивается до 10 л/мин. Таким образом, трещинные воды горного массива Дегелен являются источником пополнения окружающих водоносных систем [2].

Проведенные испытания привели к образованию участков дислоцированных пород. Недра массива претерпели значительные изменения, проявившиеся в остекловывании взрывных камер, разрушении сводов выработок, образовании зон дезинтеграции в горных породах.

Гребни основных хребтов и их боковые отроги подверглись разрушению в результате многократного воздействия ударных волн различной интенсивности. Техногенные осыпи зачастую охватывали участки склонов вплоть до порталов штолен.

Нарушение структуры горных пород привело к тому, что трещинные воды, питаемые атмосферными осадками, формируют новую систему водной циркуляции. В неё дополнительно включаются камуфлетные полости, зоны техногенной трещиноватости и, наконец, полости самих штолен. Все они являются дренирующими системами, временными накопителями влаги, новыми путями водной миграции. На рис. 1 представлена схема водной системы горного массива Дегелен на период начала работ по гидрологическому обследованию штолен. Известно, что при проведении подземных ядерных испытаний основная масса радиоактивности остается в котловых полостях (до 90%), включаясь в расплавленные горные породы, и только доли процента в виде газов и аэрозолей выбрасываются в атмосферу.

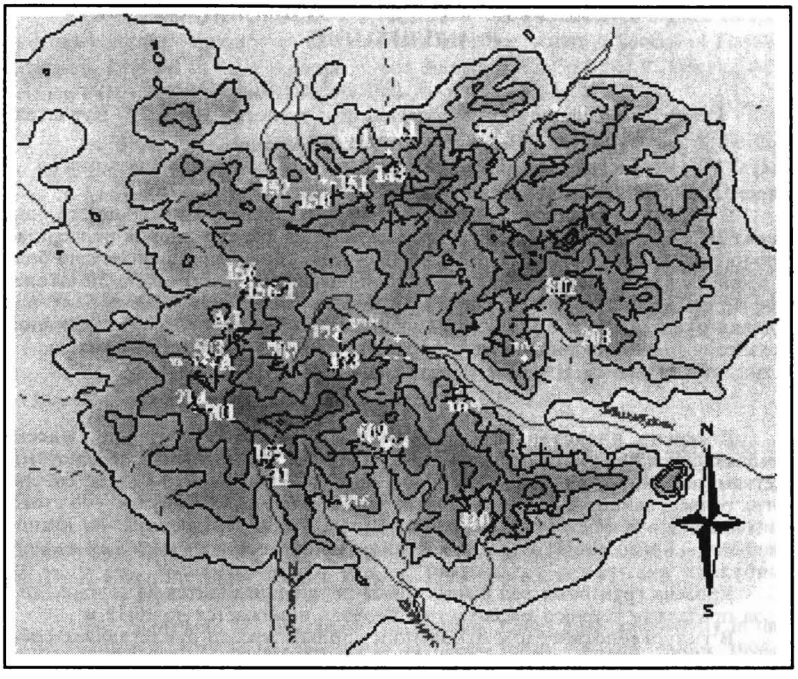


Рис. 1 Схема водной системы на горном массиве Дегелен

В момент проведения испытания в центральной зоне подземного ядерного взрыва есть два основных источника подземной водной миграции радионуклидов. Первый – это радиоактивная аэрозольно-пылевая компонента, локализованная на дробленой породе и в трещинах массива, второй источник – это радиоактивная остеклованная шлакообразная порода, содержащая основную долю ^{137}Cs, ^{90}Sr и $^{239/240}Pu$. Радиационная обстановка на дневной поверхности горного массива Дегелен, прежде всего, определялась выбросами радиоактивных газов и аэрозолей в атмосферу сразу после взрыва.

При этом, как известно, ядерные испытания не приводили к радиоактивному загрязнению местности за пределами полигона. Этот дает основание утверждать, что переход к подземным ядерным испытаниям был кардинальным шагом в улучшении экологической обстановки как в районе полигона, так и за его пределами. Однако при проведении некоторых подземных испытаний возникали нештатные радиационные ситуации, когда после взрыва происходило раннее и напорное истечение в атмосферу продуктов взрыва в газо- и парообразной фазе, обусловленное нарушением нормального процесса проведения испытаний.

Характеристика некоторых нештатных ситуаций при испытаниях на горном массиве Дегелен и их последствия представлена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика некоторых нештатных радиационных ситуаций при проведении испытаний на горном массиве Дегелен

Штольня	Дата	Характеристика радиационной ситуации
А-8 Ш	18.08.64	T_0=1 мин: быстрый выброс паро-газовой смеси в атмосферу. МЭД – 150 Р/час. В атмосфере обнаружены – стронций, цезий, теллур и др. На сегодняшний день загрязнение района штольни отсутствует.
А-6 Ш	30.09.64	T_0=2 мин: в атмосфере были обнаружены радионуклиды. МЭД ~ 18 мР/час. В настоящее время радиоактивное загрязнение в районе штольни отсутствует.
11 П	28.05.67	Штольня, использованная вторично. T_0=1-3 мин: быстрый выброс продуктов взрыва. МЭД на входе в штольню – $7,5*10^3$ Р/час. В настоящее время загрязнение в районе штольни отсутствует.
810	07.01.68	T_0=1,5 мин: быстрый выброс продуктов взрыва. МЭД на входе в штольню – несколько тысяч Р/час. В настоящее время загрязнение в районе штольни незначительно.
608 П	17.03.76	Штольня, использованная вторично. T_0=1 мин: быстрый выброс продуктов взрыва. МЭД – 60 Р/час. В настоящее время загрязнение в районе технологической площадки отсутствует.
204	05.12.80	Штольня, использованная многократно. T_0=1 мин: быстрый выброс продуктов взрыва в эпицентре. МЭД – 300 Р/час.

По окончании фазы газовой миграции радионуклидов при подземных ядерных взрывах основными миграционными носителями радионуклидов из эпицентральной зоны являются грунтовые воды. Вода, просачиваясь через зоны разрушения, включая эпицентральную, пополняет резервуар трещинных вод и образует водотоки, выходящие на дневную поверхность. При этом трещинные воды смывают радиоактивные вещества, осевшие на поверхностях образовавшихся трещин и локализованные в котловых полостях. Попадая на земную поверхность, растворенные в воде радионуклиды частично оседают на припортальных площадках, частично переносятся водотоком, накапливаясь в донных отложениях.

Радиационный мониторинг штолен с водопроявлениями

В течение нескольких последних лет производится периодический анализ проб воды из штолен. Определяется содержание радионуклидов Cs-137 и H-3. Отмечается повсеместное превышение (за исключением нескольких случаев) превышения допустимых уровней содержания данных радионуклидов в воде. На рис. 2 представлены результаты проведенной работы для штолен с наиболее существенными водотоками.

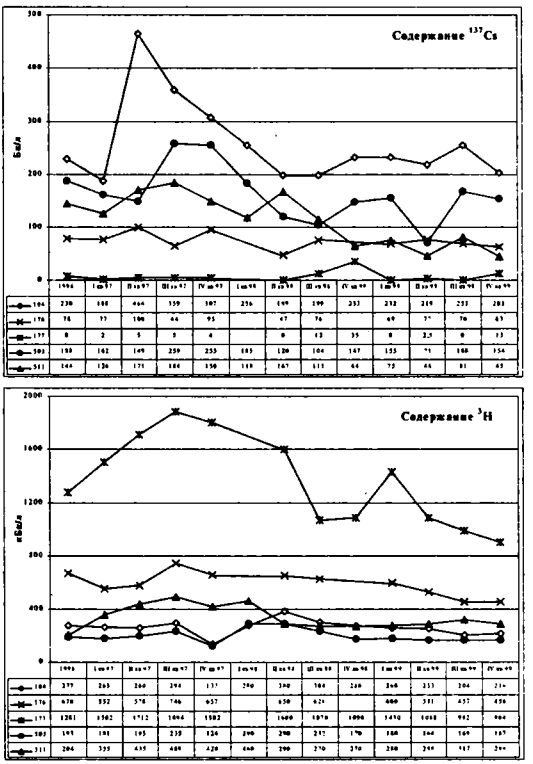
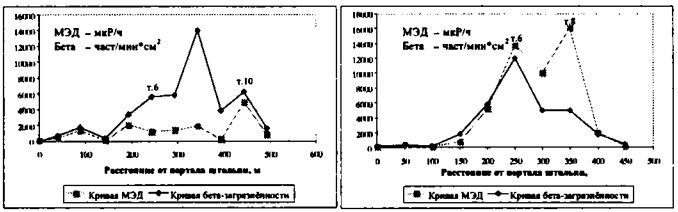


Рис. 2 Содержание ^{137}Cs и ^{3}H в водопроявлениях штолен горного массива Дегелен

На рис. 2 видны относительно небольшие (примерно в 2 раза) изменения в концентрации радионуклидов, несмотря на то, что дебит водотоков в течение наблюдаемого периода изменялся достаточно сильно. Поэтому, нет оснований утверждать, что новые загрязненные участки внутри штолен стали доступными для трещинных вод. Такая опасность существовала в связи с программой закрытия штольневых порталов для уничтожения инфраструктуры ядерных испытаний и предотвращения несанкционированного доступа людей в штольни.

Попадая на дневную поверхность, вынесенные из штолен радионуклиды частично оседают на припортальных площадках, частично переносятся водотоками, загрязняя донные отложения.

Проведенные измерения радиационных параметров вдоль русел водотоков, рис. 3, показали некоторую закономерность. Видно нарастание измеряемых величин на расстояниях 200 – 500 метров. Данную закономерность нельзя объяснить формой рельефа, поскольку характерным является равномерное понижение рельефа вплоть до долин ручьев.



а) б)

Рис. 3 Распределение МЭД и бета -активности вдоль водотоков

а) – водоток штольни 104 (обводненное русло)

б) водоток штольни 608 (сухое русло)

Каким бы ни был механизм загрязнения русел ручьев (выпадение загрязненных частиц или изменение ионной формы растворенных радионуклидов) налицо накопление радионуклидов в русле водотоков.

Водотоки штолен подпитывают ручьи водной системы Дегелена. Несмотря на сорбцию радионуклидов по руслам водотоков, значительная их часть попадает в ручьи. Самым значимым ручьем является Узынбулак, имеющий наибольшую площадь водосбора. В таблице 2 приведены результаты лабораторных анализов проб воды, отобранных в ручье Узынбулак до и после впадения в него водотоков из штолен.

Таблица 2

Радионуклидный состав проб воды ручья Узынбулак, Бк/л

	Д	П	Д	П	Д	П	Д	П	Д	П	Д	П	В
От истока км	0	10,9	20,2	40,3	40,9	50,6	60,4	60,9	70,5	80,8	90,5	10,2	12
^{137}Cs	15	85	15	175	60	180	8	29	19	12	30	39	19
^{90}Sr		170	35		170	1390							
^{239}Pu		125			910	1440							

Д – до впадения водотоков из штолен в ручей;
П – после впадения водотоков из штолен в ручей;
В – выход ручья из горного массива.

Данные таблицы 2 хорошо иллюстрируют влияние штольневых водотоков на радионуклидное загрязнение ручья Узынбулак. При впадении радиоактивной воды резко возрастает концентрация радионуклидов воды Узынбулака. В местах впадения водотоков наблюдается увеличение концентрации ^{137}Cs. По мере удаления от места впадения происходит уменьшение содержания ^{137}Cs в воде, так как происходит сорбция радионуклидов или оседание радиоактивных частиц на дно ручья.

Таким образом, видно, что вдоль русел водотоков из штолен и вдоль ручьев происходит накопление радионуклидов. После реализации возможностей сорбции руслами ручьев, Дегелен может превратиться в источник радиоактивного загрязнения. В этой связи вызывает интерес суммарное радиоактивное загрязнение.

На рис. 4 приведена гистограмма, характеризующая суммарный вынос радионуклидов водными потоками из всех штолен.

Суммарный годовой вынос ^{137}Cs в год составляет от 3 до 8 Ки, из которых более половины – в ручей Узынбулак.

На рисунке можно видеть, что характерной особенностью выноса радиоактивности является его хорошо прослеживаемая зависимость от интенсивности водотоков (дебит водотоков определялся Институтом геофизических исследований НЯЦ РК). В 1998 г. дебит водотоков увеличивался и, как следствие, увеличивалось количество выносимой активности. В начале 1999 г. дебит воды стал меньше, что привело к уменьшению выноса радионуклидов. Как уже отмечалось выше, изменение дебита воды зависит от количества атмосферных осадков.

1998 год, в отличие от 1997, характеризуется большим количеством атмосферных осадков, и, как следствие, резким увеличением притока воды,

появлением новых водотоков. Даже на ликвидированных не водоносных штольнях были обнаружены водопроявления. Вода поступала через запечатывающие конструкции закрытых порталов, из-под отвалов породы, засыпающей порталы. Суммарный водоток в мае 1998 г. составил 9700 л/мин. Это в 9 раз больше, чем в 1997 г., когда майский дебит воды составил 1100 л/мин. Причем из открытых штолен дебит воды составил 5100 л/мин, из закрытых – 4600 л/мин.

Таким образом, можно констатировать, что радиационная обстановка на испытательной площадке "Дегелен" до сих пор не достигла равновесного состояния. Поэтому решение проблемы сдерживания дальнейшего загрязнения продуктами ядерных испытаний в настоящее время является основной задачей реабилитации окружающей среды. Первым шагом в этом направлении явилось закрытие штолен, в результате чего штольни без водопроявлений можно исключить из списка загрязнителей. Следующим шагом для некоторой стабилизации радиационной ситуации является уменьшение выноса радионуклидов в ручьи с использованием дополнительных искусственных барьеров в виде фильтров. Наиболее перспективными материалами для таких фильтров являются природные сорбенты, модифицированные для данных конкретных целей. Исследование сорбционных свойств продуктов взаимодействия каолина с фосфорной кислотой производилось на кальции, моделирующем химические свойства радионуклидов.

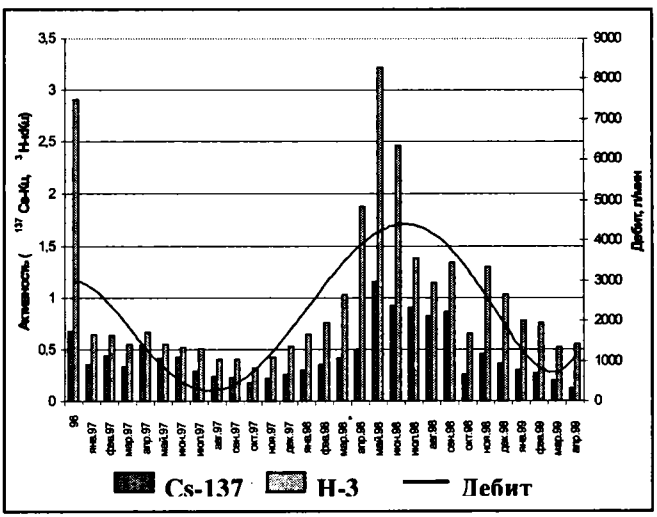


Рис. 4 Суммарная активность ^{137}Cs и ^{3}H, выносимая водными потоками из штолен

Обоснование использования продуктов взаимодействия каолина с фосфорной кислотой

Некоторым природным алюмосиликатам, в частности бентонитовым глинам, присуща высокая сорбционная способность по отношению к разнообразным веществам и соединениям [3-11]. Однако сорбционные свойства одного из наиболее распространенных видов алюмосиликатных минералов - каолина выражены слабо. Он приобретает способность связывать некоторые вещества и обменивать ионы алюминия на катионы другого металла только после предварительной специальной обработки, например с помощью минеральных кислот [12].

Изучался эффект воздействия фосфорной кислоты на сорбционные свойства природного каолина. Ранее эта кислота для подобных целей практически не применялась. В сообщении [13] были описаны результаты исследования изменения алюмосиликатного минерала филлипсита под воздействием фосфорной кислоты, а в работе [14] - каолина. Авторы последней публикации установили, что реакция с концентрированной фосфорной кислотой начинается уже при комнатной температуре, проявляясь сначала в связывании молекул H_3PO_4 частицами глины, а затем - в нарушении структуры минерала, углубляющемся по мере повышения температуры. К сожалению пока не ясно, как именно молекулы кислоты связываются с каолиновыми слоями и каков характер образующихся при этом химических связей. Однако, если принять во внимание факт появления кислых фосфатов алюминия при продолжительном контакте реагентов, особенно в условиях умеренного нагрева, можно ожидать появления связей Al-O-P. Это означает, что в продуктах взаимодействия могут образовываться зачатки фосфорнокислых солей алюминия, некоторые из которых лежат в основе молекулярных сит и сорбентов [14-21].

Результаты исследования сорбционных свойств модифицированного каолина

Использовался природный каолин, содержание основных компонентов в котором составляло: Al_2O_3 – 39,5; SiO_2 – 46,5; H_2O –14,0 масс. %. Обработка минерала кислотой производилась следующим образом. Необходимые количества реагентов (таблица 3) перетирались в агатовой ступке до получения однородной массы, которая затем выдерживалась при 80-100°С в сушильном шкафу. После охлаждения необходимое количество вещества вносилось в 50 мл. 0,5% раствора хлорида кальция. Суспензия перемешивалась при комнатной температуре с помощью магнитной мешалки в течение 1 ч, а затем фильтровалась через бумажный фильтр. Полученный фильтрат анализировался на содержание кальция по методике [21]. Величина pH растворов $CaCl_2$ регулировалась с помощью 10% раствора NaOH. Фосфорная кислота и гидроксид натрия имели квалификацию "чда".

Таблица 3

Состав сорбентов

Образец	Количества реагентов, г.		Мольное отношение H_3PO_4/каолин*
	каолин	H_3PO_4	
1	10,0		0
2	10,0	5,2	1
3	10,0	10,4	2
4	10,0	15,6	3
5	10,0	20,8	4
6	10,0	25,9	5
7	10,0	31,0	6

*) - Под молекулярным весом каолинита условно принята величина, соответствующая формуле $Al_2Si_2O_5(OH)_4$.

Каолин по отношению к кальцию в водном растворе его хлорида проявляет лишь очень слабые сорбционные свойства. На рис. 5 видно, что внесение в раствор около 0,2 % минерала приводит к снижению содержания кальция на 5-20% в зависимости от pH среды. При двукратном увеличении количества глины концентрация кальция понижается примерно на 25%. Дальнейший рост количества каолина сказывается на содержании кальция в растворе слабо, хотя тенденция к сокращению концентрации ионов Ca^{2+} сохраняется. Из рисунка видно, что кальций сорбируется лучше в щелочной, несколько слабее в нейтральной и хуже в кислой среде.

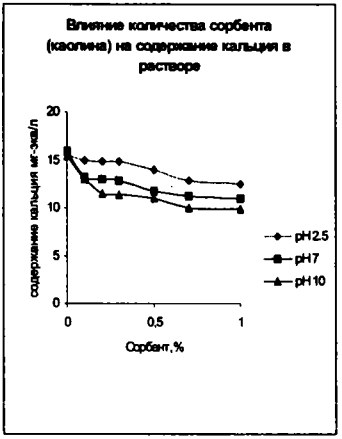


Рис. 5

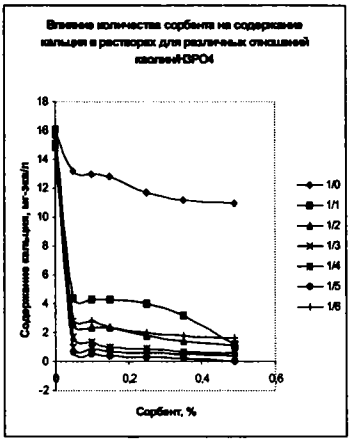


Рис. 6

После прибавления к раствору хлорида кальция 0,2 % вещества, полученного обработкой каолина однократным количеством фосфорной кислоты, содержание кальция сокращается сразу почти на 3/4 (рис. 6). Дальнейшее увеличение количества сорбента приводит к очень несущественному понижению концентрации ионов Ca^{+2}.

Каолин, обработанный двукратным количеством фосфорной кислоты, обеспечивает снижение содержания кальция в кислом растворе до такого же уровня, что и в предыдущем случае, а в нейтральной и в щелочной средах - до 10-15% от первоначальной. В результате использования больше, чем 0,2% количества вещества содержание кальция в растворе сокращается до 5-7%. Похожий ход кривых отмечается для трех- и четырехкратного количества кислоты, а продукты, полученные с использованием еще большего количества фосфорной кислоты (5- и 6-кратное), обеспечивают понижение концентрации кальция в растворе до 3-5%.

Выше уже отмечалось, что наибольшее снижение концентрации кальция под воздействием каолина, предварительно обработанного фосфорной кислотой, достигается в нейтральной и слабощелочной среде. Доля связанного кальция всегда меньше при низких значениях pH. Очевидно, в кислой среде имеет место конкуренция между протонами и катионами Ca^{+2}, что находится в соответствие с законами химического равновесия.

Исследования показывают повышение сорбционной способности по мере обогащения продуктов взаимодействия фосфорной кислотой до отношения H_3PO_4/ каолин=3-5 и тенденцию к ее понижению по мере дальнейшего увеличения количества кислоты.

В описанных выше экспериментах использовалась реактивная кислота, содержащая около 85% H_3PO_4. При определении влияния концентрации кислоты

на процесс образования продуктов и на их способность связывать кальций, было установлено, что по мере разбавления кислоты количество кальция в растворе постепенно сокращается, достигая примерно 0,2-0,3 мг-экв/л при использовании 5% раствора H_3PO_4. Почти одинаковое содержание кальция достигается для соотношений H_3PO_4/каолин: 2/1 и 4/1. Так как концентрация фосфорной кислоты не может напрямую влиять на сорбцию ионов Ca^{2+}, уместно предположить, что разбавление кислоты способствует более глубоким превращениям каолина и увеличению числа активных групп и центров, на которых происходит сорбция катионов кальция.

Нами выполнена оценка сорбционной способности продуктов взаимодействия, образующихся при двух вышеуказанных соотношениях H_3PO_4/каолин. Было отмечено резкое повышение содержания кальция в растворе при массовом отношении $CaCl_2$/сорбент больше 1,5. Подобный скачек может быть объяснен тем, что начиная с указанного соотношения продукты взаимодействия исчерпывают свою способность сорбировать ионы кальция из раствора. Этот предел можно условно принять в качестве первого приближения к величине сорбционной емкости. Зная концентрацию растворов до и после обработки их сорбентом, можно оценить сорбционную способность обоих продуктов взаимодействия. Для некоторых концентраций кальция оцененная сорбционная емкость составляет 850 мг/г или 21ммоль/г.

Проведенные исследования сорбирования меди из медного купороса также продемонстрировали хорошую большую эффективность (до 820 ммоль/кг по сравнению с 18 ммоль/кг, известными по литературным источникам для других кислотно-модифицированных каолиновых глин). Вероятной причиной этого может быть существование в исследуемых нами продуктах сорбционных центров, имеющих фосфатную природу.

Проверка эффективности сорбента проводилась также с использованием плутония. Для этого в воду с сорбентом (400 мл воды и 20 г сорбента) была добавлена метка ^{238}Pu (253 Бк). Вода была взмучена. Через сутки было проведено отделение от сорбента методом фильтрования. Результаты показали содержание ^{238}Pu в воде – 3.3±1.2 Бк и в сорбенте 237±50 Бк, т. е. эффективность оказалась на уровне 94%.

Выводы

Таким образом, показано, что радиационная обстановка на горном массиве Дегелен бывшего Семипалатинского испытательного полигона продолжает изменяться вследствие выноса радионуклидов с водой из штолен, использовавшихся для проведения ядерных взрывов. Одним из этапов реабилитации этой территории является предотвращение загрязнения основных ручьев, берущих начало на горном массиве. Для этого можно использовать инженерные сооружения типа фильтрационных установок. В качестве материала для таких фильтров можно использовать модифицированные фосфорной кислотой каолиновые глины, которые показали хорошие сорбционные возможности на модельных химических элементах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 В.В.Горин, и др. Семипалатинский полигон. Хронология подземных ядерных взрывов и их первичные радиационные эффекты (1961 – 1989 гг.). Бюллетень центра общественной информации по атомной энергии, 1993, № 9, М., ЦНИИ Атоминформ.

2 Программа характеризации штолен горного массива Дегелен. Итоговый отчет НЯЦ РК по контракту № DNA 001-95-C-0179, руководитель Ш.Т.Тухватулин.

3 Грим Р.Е. Минералогия глин. - М.: Иностранная Литература, 1956. - 455с.

4 Грим Р.Е. Минералогия и практическое использование глин. - М.: "Мир", 1967. - 510 с.

5 Баталова Ш.Б. Физико-химические основы получения и применения катализаторов и адсорбентов из бентонитов. - Алма-Ата: "Наука" Казахской ССР, 1986. - 168 с.

6 Breen C. The characterisation and use of polycation-exchanged bentonites. // Applied Clay Science. - 1999. - 15, 187-219.

7 Lawrence M.A.M., Kukkadapu R.K., Boyd S.A. Adsorption of phenol and chlorinated phenols from aqueous solution by tetramethylammonium- and tetramethylphosphonium-exchanged montmorillonite. //Applied Clay Science. - 1998. - 13, 13-20.

8 Yong R.N., Desjardins S., Farant J.P., Simon P. Influence of pH and exchangeable cation on oxidation of methylphenols by a montmorillonite clay. //Applied Clay Science. - 1997. - 12, 93-110.

9 Adeleye S.A., Rautiu R., White D.A. Clay minerals as sorbents for nuclear reactor activation products. //J. Mater. Sci. - 1995. - 30, 583-586.

10 Stul M.S., Uytterhoeven J.B. Interlamellar sorption of ethanol on montmorillonite clays with different layer charges. //J. Chem. Soc., Faraday Trans. - 1975. - 71,1396-1401.

11 Velghe F., Schoonheydt R.A., Uytterhoeven J.B. The coordination of hydrated Cu(II)- and Ni(II)-ions on montmorillonites surface. //Clays and Clay Minerals. - 1977. - 25, 375-380.

12 Stul M., Maes A., Uytterhoeven J.B. The adsorption of n-aliphatic alcohols from dilute aqueous solutions on RNH3 -montmorillonites. //Clays and Clay Minerals. - 1978. - 26, 309-317.

13 Stul M.S., Van Leemput L. Particle-size distribution, cation exchange capacity and charge density of deferrated montmorillonites. //Clay minerals. - 1982. - 17, 209-

215.

14 Suraj G., Iyer C.S.P., Lalithambika M. Adsorption of cadmium and copper by modified kaolinites. // Applied Clay Science. - 1998. - 13, 293-306.

15 Темирова С.С., Ушанов В.Ж., Проскурин А.А., Синяев В.А. Взаимодействие каолинита с фосфорной кислотой при нагревании // Известия Министерства Науки - Академии Наук Республики Казахстан. Серия химическая, 1998. N.2. С.67-72.

16 Kirchner R.M., Bennett J.M. The structure of calcined $AlPO_4$-41: a new framework topology containing one-dimensional 10-ring pores. // Zeolites. - 1994. - 14, 523-528.

17 Bennett J.M., Kirchner R.M. The Structure of calcined $AlPO_4$-31: a new framework topology containing one dimensional 12-ring pores. // Zeolites. - 1992. - 12, 338-342.

18 Poojary M.D., Clearfield A. Crystal structure of 14-ring aluminophosphate $AlPO_4$-8 from powder data. // Material Chemistry and Physics. - 1993. - 35, 301-304.

19 Crowder C.E., Garces J.M., Davis M.E. Using X-ray diffraction to determine the structure of VPI-5 a molecular sieve with the largest known pores. //Advances in X-ray analysis. - 1990. - 32, 507-514.

20 Rudolf P.R., Crowder C.E. Structure refinement and water location in the very large-pore molecular sieve VPI-5 by X-ray Rietveld techniques. // Zeolites. - 1990 - 10, 163-168.

21 Simmen A.,McCusker L.B., Baerlocher C., Meier W.M The structure determination and rietveld refinement of the aluminophosphate $AlPO_4$-18. // Zeolites. - 1991. - 11, 654-661.

22 McCusker L.B., Baerlocher C., Jahn E., Buelow M. Structure refinement of large-pore aluminophosphate molecular sieve, H1, by Rietveld methods. // Zeolites. - 1993. - 13, 542-548.

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНКТОНА В ВОДОЕМЕ-ОХЛАДИТЕЛЕ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС

Гусева В.П., Чеботина М.Я., Трапезников А.В.

С 1979 г. в Отделе континентальной радиоэкологии Института экологии растений и животных УрО РАН проводятся систематические радиоэкологические исследования состояния природной среды в районе функционирования Белоярской АЭС им. И.В. Курчатова. Накопленный к настоящему времени обширный экспериментальный материал позволяет оценить масштаб воздействия АЭС на природные комплексы и прогнозировать последствия такого воздействия (Караваева, Куликов, Молчанова, 1994; Молчанова и др. 1982; 1985; Чеботина и др., 1992, 1993, 1994; Куликов и др.,1983, 1988, 1992, 1996; Трапезникова и др. 1984 и др.).

В процессе проведения работ особое внимание уделялось водным экосистемам, а среди них - водоему-охладителю, куда поступают слаборадиоактивные стоки атомной станции. В настоящее время наличие радиоактивного загрязнения в надфоновых концентрациях зарегистрировано практически во всех компонентах исследуемого водоема (Трапезников и др., 1992; Чеботина и др., 1988; Трапезникова и др., 1993; Гусева и др., 1989).

Цель данной работы - изучение радиоэкологической роли планктонных организмов в Белоярском водохранилище в связи с использованием его в качестве водоема-охладителя Белоярской АЭС. Для выполнения этой цели было необходимо выявить особенности видового состава, численности и биомассы фито- и зоопланктона в водоеме; дать характеристику накопительной способности планктонных организмов в отношении преобладающих радионуклидов; вычленить роль планктона в общем балансе радиоактивного загрязнения в водоеме-охладителе.

Методика

Для определения видового состава, численности и биомассы фитопланктон отбирали батометром. Пробы консервировали, сгущали, после чего анализировали с помощью камеры Горяева и микроскопа МБИ-15. Зоопланктон отлавливали специальным сачком, изготовленным из мельничного газа № 70 со сливным стаканчиком. После консервирования пробы анализировали при помощи бинокулярной лупы МБС-10 в камере Богорова. Определение видового состава фито- и зоопланктонных организмов проводили из проб, отобранных для количественных определений. Более подробно методика идентификации и подсчета численности и биомассы планктонных организмов описана в руководствах (Васильева,1987; Голлербах, Косинская, Полянский, 1953; Дерусенко- Щеголева, Голлербах, 1962; Забелина и др., 1951; Киселев, 1954; Методика изучения..., 1975; Методические рекомендации..., 1984, и др.). Для определения содержания радионуклидов в планктоне его отлавливали специальными сачками, изготовленными из мельничного газа № 70. В этом случае в пробу попадал суммарный фито- и зоопланктон. Пробы высушивали в сушильном шкафу при температуре 105°С, озоляли в муфельной печи при температуре 450-500°С, взвешивали. Содержание ^{90}Sr определяли радиохимическим, а ^{60}Co и ^{137}Cs - гамма-спектрометрическим методом с

использованием амплитудного анализатора АИ-256 со сцинтилляционным NaJ(Tl) - детектором типа «Лимон» при статистической ошибке счета не более 15-20%.

Отбор проб для радиоэкологических исследований проводили одновременно с отбором проб для определения видового состава, численности и биомассы планктона. Поскольку для радиоэкологических целей требуется большой объем материала (1,5 - 2 кг сырой массы), работу выполняли в период массового развития фитопланктона.

Результаты исследований

1.Видовой состав, численность и биомасса фитопланктона

Поскольку указанные выше характеристики фитопланктона весьма динамичны во времени и пространстве, их оценку производили по всей акватории Белоярского водохранилища с 30.06.1988 г. по 29.08.1988 г. В качестве точек наблюдений (ПТН) были выбраны: район плотины (1, рис. 1), центр водоема напротив Теплого залива (2), Теплый залив (3), устье р. Черемшанки (4), район о.Даманского (5), район Генеральской дачи (6), центр водоема напротив Щучьего залива (7), Щучий залив (8), ЛЭП (9) район верховья (10).

В табл.1 приведены усредненные данные численности и биомассы фитопланктона за весь период наблюдений. В Белоярском водохранилище зарегистрировано 56 видов фитопланктонных водорослей, относящихся к семи типам - синезеленые, зеленые, пирофитовые, диатомовые, эвгленовые, золотистые, желтозеленые. Среди указанных типов зеленые представлены наибольшим числом видов (32), при этом наиболее многочисленен класс хлорококковых водорослей (24 вида).

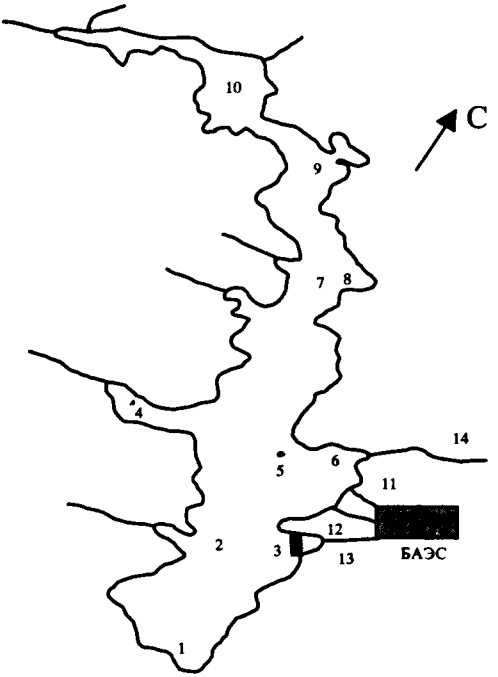


Рис. 1 Схема Белоярского водохранилища

Постоянные точки наблюдений:
1 - район плотины);
2 - центр водоема напротив Теплого залива;
3 - Теплый залив;
4 - устье р. Черемшанки;
5 - район о. Доманского;
6 - район Генеральской дачи;
7 - центр водоема напротив Щучьего залива;
8 - Щучий залив;
9 – ЛЭП;
10 - район верховья.

Каналы:
11 –промливневый;
12 – водозаборный;
13 – водосбросной;
14 – обводной (нагорная канава).

Таблица 1

Видовой состав, численность и биомасса фитопланктона Белоярского водохранилища (усредненные данные за 1988г.)

Видовой состав	Численность, тыс.кл./л	Биомасса, г/м^3
Синезеленые		
Anabaena flos-aquae (Lyngb.)Breb.	1 822 (1-17 680)	0,20 (0-2,08)
Aphanizomenon flos-aquae (L.) Ralfs	8 074 (1-43 681)	0,95 (0-5,15)
Merismopedia tenuissima Lemm.	1 550 (1-8 827)	0,003 (0-0,02)
Microcystis aeruginosa Kutz.emend Elenk.	153 553 (165-800 310)	10,58 (0-52,38)
M. pulverea (Wood) Forti emend.Elenk.	12 461 (1-105 332)	0,03 (0-0,23)
Phormidium mucicola Hub.-Pestalozzi et Naum	1 741 (1-9 671)	0,12 (0-0,71)
Gomphosphaeria lacustris Chod.	75 (1-990)	0,005 (0-0,07)
Spirulina major Kurz.	18 (1-699)	0
Зеленые		
Actinastrum hantzschii Lagerh.	15 (1-311)	0
Ankistrodesmus angustus Bern.	88 (1-627)	0,01 (0-0,06)
A. bibraianus (Reinsch.) Korschik.	4 (1-132)	0
A. minutissimus Korschik.	43 (1-365)	0,01 (0-0,06)
Carteria globosa Korschik.	4 (1-56)	0,01 (0-0,19)
Chlamydomonas conferta Korschik.	9 (1-93)	0,01 (0-0,08)
Closterium acutum (Lyngb) Breb.	39 (1-125)	0,012 (0-0,04)
C. jenneri Ralfs	2 (1-13)	0,01 (0,01-0,08)
Coelastrum microporum Nag.	966 (1-8 527)	0,25 (0-4,47)
Coenocystis obtusa Korschik.	42 (1-307)	0,01 (0-0,06)
Cosmarium bioculatum Breb.	6 (1-101)	0,010 (0-0,26)
C. undulatum Corda	7 (1-42)	0,08 (0,01-0,37)
Crucigenia quadrata Moor.	9 (1-307)	0
Elakotothrix lacustris Korschik.	2 (1-22)	0
Gonium pectorale Mull.	16 (1-316)	0,03 (0-0,56)
Lambertia ocellata Korschik.	118 (1-801)	0,02 (0-0,11)

Продолжение таблицы 1

Micractinium pusillum Fres.	37 (1-1 536)	0
Oocystis submarina Lagerh.	248 (28-1 298)	0,12 (0,01-3,64)
Pediastrum boryanum (Turp) Menegh.	104 (1-660)	0,11 (0-0,68)
P. duplex Meyen	1 071 (1-16 762)	1,08 (0-16,87)
P. kawraiskyi Schmidle	3 (1-142)	0
P. tetras (Ehr.) Ralfs	34 (1-1 421)	0,01 (0-0,18)
Scenedesmus acuminatus (Lager.) Chod.	1 (1-77)	0
S. arcuatus var. arcuatus Lemm.	8 (1-222)	0
S. denticulatus Lagerh.	12 (1-154)	0
S. incrassatulus Bohl.	3 (1-99)	0
S. quadricauda (Turp.) Breb.	132 (1-1 306)	0,04 (0-0,40)
Schroederia robusta Korschik.	99 (1-2 145)	0,02 (0-0,10)
Sphaerocystis polycoca Korschik.	79 (1-1 068)	0,01 (0-0,15)
Staurastrum gracile Ralfs	3 (1-14)	0,12 (0,04-0,59)
Tetraedron incus (Teil.) G.M. Smith	8 (1-50)	0
П и р о ф и т о в ы е		
Ceratium hirundinella (OFM) Bergh.	24 (1-190)	3,12 (0,11-20,13)
Chroomonas acuta Uterm.	442 (1-3 559)	0,17 (0-1,37)
Cryptomonas Marssonii Skuja	138 (1-1 442)	0,33 (0-4,93)
Cr. sp.	7 (1-171)	0
Gymnodinium mirabile Penard	1 (1-40)	0,02 (0,01-0,50)

Продолжение таблицы 1

Д и а т о м о в ы е		
Cyclotella sp. Kutz.	30 (1-332)	0,03 (0-0,30)
Cymbella sp.Ag.	2 (1-22)	0,03 (0,01-0,22)
Gomphonema sp. Ag.	3 (1-27)	0,01 (0-0,11)
Melosira sp. Ag.	81 (1-566)	0,09 (0-1,01)
Navicula sp. Bory.	21 (1-132)	0,02 (0-0,16)
Stephanosdiscus sp. Ehr.	262 (1-1 551)	2,01 (0-11,95)
Surirella sp. Turp.	6 (1-44)	0,02 (0-0,12)
Э в г л е н о в ы е		
Trachelomonas hispida (Perty) emend Defl.	4 (1-52)	0,01 (0-0,23)
Trachelomonas volvocinopsis Swir.	39 (1-135)	0,16 (0-0,60)
З о л о т и с т ы е		
Mallomonas sp.	8 (1-54)	0,02 (0-0,13)
Ж е л т о з е л е н ы е		
Ophiocytium parvulum (A.Br.)	22 (1-267)	0
Всего	**183 600**	**19,85**

В табл. 2 приведены результаты измерения численности и биомассы для основных типов фитопланктона в различных временных и пространственных точках наблюдений на акватории Белоярского водохранилища. Как видно, средняя численность фитопланктона составила 184000 тыс.кл./л, а биомасса его - 20 г/м^3.

Что касается численности отдельных групп фитопланктона, то следует подчеркнуть, что по этому показателю в водоеме в течение всего вегетационного сезона преобладают синезеленые, составляющие от 72 до 100% от общей численности водорослей. Это особенно наглядно показано на рис. 2, где представлена относительная доля разных типов водорослей в общей численности фитопланктонных организмов.

Численность зеленых водорослей варьировала за наблюдаемый период от 200 до 30000 тыс.кл./л, что составило в разные сроки наблюдений от 1 до 30% общей численности фитопланктона. При этом отмечена более высокая численность упомянутых организмов в июне и июле, когда они более или менее равномерно встречались по всему водоему. В первой декаде августа. численность зеленых явно снизилась и в дальнейшем не превышала 3000 тыс.кл./л (рис.3.1).

Численность пирофитовых изменяется в широких пределах от единичных экземпляров до 3500 тыс.кл./л. В общей численности фитопланктона пирофитовые водоросли не превышали 5-8%, но как правило, их было значительно меньше. Из рис. 3.2 видно, что численность пирофитовых была наиболее высокой в июне и первых двух декадах июля; в конце июля она заметно снизилась и снова возросла в последней декаде августа.

Диатомовые водоросли оказались более малочисленными по сравнению с вышеупомянутыми отделами фитопланктона (от единичных экземпляров до 1800 тыс.кл./л) и составляли, как правило, меньше 1% от общей численности водорослей (за исключением одного случая, когда в районе о. Даманский в последних числах июня они составили 6%). В июне и июле их было заметно больше, чем в августе, что хорошо иллюстрирует рис.3.3.

Что касается биомассы, то по этому показателю в водоеме в целом также преобладают синезеленые, составляющие от 40 до 80% и более от общей биомассы фитопланктона. Однако в отдельные временные точки и в отдельных акваториях лидирующими оказываются зеленые, диатомовые или пирофитовые водоросли.

Биомасса синезеленых варьировала за период наблюдений от 1 до 50 г/м^3 при среднем значении 12 г/м^3. В июне и июле наибольшая биомасса (22-26 г/м^3) отмечалась в районе плотины и р. Черемшанки; в августе, ввиду распространения водорослей по всему водоему, показатели биомассы в общем возросли по всей акватории водохранилища от Теплого залива до верховья и достигали в отдельных случаях 50 г/м^3 (рис.4.1)

Биомасса зеленых изменялась от 0 до 19 г/м^3 при среднем значении 2 г/м^3 (рис. 4.2). В соответствии с численностью, она в целом по водоему в июне и июле была выше, чем в августе (соответственно 3,4 и 0,7 г/м^3). В последних числах июля в верховье водоема отмечался самый высокий показатель биомассы зеленых за счет резкого увеличения численности *Pediastrum duplex* (16,9 г/м^3) в этот период.

Биомасса пирофитовых в водохранилище не превышала 25 г/м^3 при среднем значении около 3 г/м^3(рис. 4.3). На фоне сравнительно низкого среднего показателя по водоему в целом, можно выделить район верховья и примыкающую к нему акваторию до Щучьего залива, когда в период от конца июля до конца

августа биомасса пирофитовых заметно возрастала. Последнее связано с распространением в этом районе водоросли *Ceratium hirundinella*, биомасса которой в районе ЛЭП и верховья достигала соответственно 20,1 и 14,5 г/м^3.

Биомасса диатомовых водорослей в среднем за период наблюдений составляла примерно 2 г/м^3 (рис.4.4). Отмечено явное повышение биомассы указанных водорослей почти по всему водоему в июне - июле по сравнению с августом (в среднем соответственно 4,1 и 0,8 г/м^3). Это связано с распространением в этот период диатомовой водоросли *Stephanodiscus sp.*, биомасса которой в районе ЛЭП достигала 11,9 г/м^3.

Таблица 2

Динамика численности и биомассы основных типов фитопланктона в течении летнего вегетационного сезона 1988 г.

Место отбора и № постоянных точек наблюдений	Тип	30.06.88		20.07.88		29.07.88		9.08.88		19.08.88		29.08.88	
		тыс.кл./л	г/м^3	тыс.кл./л	г/м^3	тыс.кл./л	г/м^3	тыс.кл./л	г/м^3	тыс.кл./л	г/м^3	тыс.кл./л	г/м^3
Плотина (1)	Зеленые	3 539	3,45	4 182	0,85	904	0,57	203	0,07	752	0,54	1 815	1,50
	Синезеленые	293 253	22,25	351 435	19,63	13 515	0,53	3 558	0,05	40 246	1,69	20 174	0,67
	Диатомовые	116	0,43	1 350	8,49	179	1,26	0		237	0,67	226	1,27
	Пирофитовые	116	3,98	1 030	4,42	52	0,68	0		689	4,10	957	0,79
	Прочие	27	0,23	89	0,35	70	0,23	6	0,02	29	0,13	72	0,20
	Всего	**297 051**	**30,34**	**358 086**	**33,74**	**14 720**	**3,27**	**3 767**	**0,14**	**41 953**	**7,13**	**23 244**	**4,43**
Центр водоема напротив Теплого залива (2)	Зеленые	4 764	3,42	2 903	0,92	2 730	1,35	981	0,93	825	0,63	1 129	0,97
	Синезеленые	10 574	1,14	141 737	9,79	57 747	3,58	42 124	1,56	43 352	2,11	131 406	7,94
	Диатомовые	399	2,14	595	3,55	405	2,89	56	0,37	152	1,00	220	1,04
	Пирофитовые	1 176	1,97	215	0,18	209	1,87	17	0,01	162	0,83	862	0,48
	Прочие	41	0,18	56	0,13	75	0,15	26	0,04	27	0,09	71	0,21
	Всего	**16 954**	**8,85**	**145 506**	**14,57**	**61 166**	**9,84**	**43 204**	**2,91**	**44 518**	**4,66**	**133 688**	**10,64**
Теплый залив (3)	Зеленые	3 963	2,81	2 464	1,31	2 138	1,41	643	0,46	684	0,33	1 294	1,18
	Синезеленые	36 231	4,07	54 163	3,56	109 412	7,23	445 442	28,96	111 764	7,01	208 769	13,27
	Диатомовые	396	1,75	658	4,22	323	2,06	99	0,72	153	1,03	80	0,66
	Пирофитовые	2 098	4,06	94	0,10	115	2,25	31	1,18	189	0,79	1 041	0,70
	Прочие	39	0,14	38	0,09	43	0,15	16	0,07	30	0,11	80	0,33
	Всего	**42 727**	**12,83**	**57 417**	**9,28**	**112 031**	**13,10**	**446 231**	**31,39**	**112 820**	**9,27**	**211 264**	**16,14**
р.Черемшанка(4)	Зеленые			3 353	1,22	3 730	2,37	1 502	1,31	801	0,96	491	0,53
	Синезеленые			377 746	26,22	136 971	7,87	564 419	36,79	39 392	2,00	46 554	1,63
	Диатомовые			723	5,11	591	3,44	109	0,59	187	0,96	5	0,01
	Пирофитовые			513	3,58	250	1,05	40	0,72	180	0,97	215	0,10
	Прочие			94	0,10	92	0,04	37	0,09	32	0,14	23	0,09
	Всего			**382 429**	**36,23**	**141 634**	**14,77**	**566 107**	**39,50**	**40 592**	**5,03**	**47 288**	**2,36**

Продолжение табл.2.

Место отбора и № постоянных точек наблюдений	Тип	30.06.88		20.07.88		29.07.88		9.08.88		19.08.88		29.08.88	
		тыс.кл./л	г/м^3	тыс.кл./л	г/м^3	тыс.кл./л	г/м^3	тыс.кл./л	г/м^3	тыс.кл./л	г/м^3	тыс.кл./л	г/м^3
о.Даманский (5)	Зеленые	5 042	3,60	4 159	1,33	2 059	1,45	823	0,41	355	0,38	185	0,43
	Синезеленые	9 167	0,99	186 645	6,23	183 223	12,13	205 519	13,17	194 461	12,45	836 863	53,06
	Диатомовые	1 016	5,01	476	3,67	198	1,40	112	0,83	120	0,82	37	0,29
	Пирофитовые	1 505	4,06	570	7,84	211	0,14	107	1,94	197	3,20	315	0,23
	Прочие	73	0,26	173	0,40	99	0,06	12	0,05	25	0,11	37	0,14
	Всего	**16 803**	**13,92**	**192 023**	**19,47**	**185 790**	**14,51**	**206 573**	**16,40**	**195 158**	**16,96**	**837 237**	**54,15**
Генеральская дача (6)	Зеленые	11 335	6,91	8 322	2,04			1 467	1,04	492	0,47	793	0,58
	Синезеленые	28 083	3,10	83 276	5,51			233 692	15,15	319 761	20,58	355 709	22,74
	Диатомовые	715	2,88	748	5,60			232	1,48	63	0,44	62	0,40
	Пирофитовые	3 459	5,70	706	0,97			261	8,67	141	0,50	1 448	0,88
	Прочие	64	0,22	126	0,15			73	0,32	15	0,07	39	0,17
	Всего	**43 656**	**18,81**	**93 178**	**14,27**			**235 725**	**26,66**	**320 472**	**22,06**	**358 051**	**24,77**
Центр водоема напротив Щучьего залива (7)	Зеленые			4 097	1,84	9 240	5,95			676	0,62	767	0,63
	Синезеленые			13 089	0,80	204 955	13,72			56 936	3,59	42 824	2,04
	Диатомовые			598	2,96	553	2,64			180	0,33	48	0,20
	Пирофитовые			194	1,51	215	2,72			50	3,93	791	1,39
	Прочие			66	0,16	124	0,31			43	0,19	296	0,25
	Всего			**18 044**	**7,27**	**215 087**	**25,39**			**57 885**	**8,66**	**44 726**	**4,51**
Щучий залив (8)	Зеленые			3 949	1,98	4 547	3,65	866	0,49			275	0,40
	Синезеленые			16 517	1,43	190 432	13,18	215 964	13,96			147 281	8,71
	Диатомовые			831	5,18	320	1,60	138	1,01			141	0,54
	Пирофитовые			935	0,80	98	1,06	131	4,41			950	3,70
	Прочие			72	0,12	18	0,08	83	0,35			142	0,61
	Всего			**22 304**	**9,51**	**195 415**	**19,57**	**217 182**	**20,22**			**148 789**	**13,96**

Продолжение табл.2.

Место отбора и № постоянных точек наблюдений	Тип	30.06.88		20.07.88		29.07.88		9.08.88		19.08.88		29.08.88	
		тыс.кл./л	г/м^3	тыс.кл./л	г/м^3	тыс.кл./л	г/м^3	тыс.кл./л	г/м^3	тыс.кл./л	г/м^3	тыс.кл./л	г/м^3
ЛЭП (9)	Зеленые			13 091	5,64	6 240	4,70	2 186	1,82	1 294	0,96	351	0,22
	Синезеленые			104 675	4,93	344 289	22,85	500 923	32,17	330 929	21,24	226 332	14,67
	Диатомовые			1 739	12,16	639	1,95	710	1,78	210	0,81	92	0,43
	Пирофитовые			375	0,19	114	3,42	112	6,01	529	20,63	1 838	10,02
	Прочие			310	0,16	45	0,17	56	0,21	90	0,35	59	0,25
	Всего			**120 190**	**23,08**	**351 327**	**33,09**	**503 987**	**41,99**	**333 052**	**43,99**	**228 672**	**25,59**
Верховье (10)	Зеленые			30 264	19,01	5 217	4,41	857	0,65	1 173	0,48	2 751	1,61
	Синезеленые			181 862	11,10	400 488	24,96	503 771	33,66	202 307	12,99	146 348	8,46
	Диатомовые			1 584	7,86	1 360	5,20	641	1,67	160	0,96	373	2,53
	Пирофитовые			518	0,37	250	4,74	33	2,65	619	11,76	4 981	24,48
	Прочие			240	0,05	153	0,43	116	0,46	80	0,25	210	0,74
	Всего			**214 468**	**38,39**	**407 468**	**39,74**	**505 418**	**39,09**	**204 339**	**26,44**	**154 663**	**37,82**
Среднее		**83 440**	**16,96**	**160 360**	**20,58**	**187 170**	**19,22**	**303 130**	**24,28**	**150 090**	**16,02**	**218 760**	**19,44**

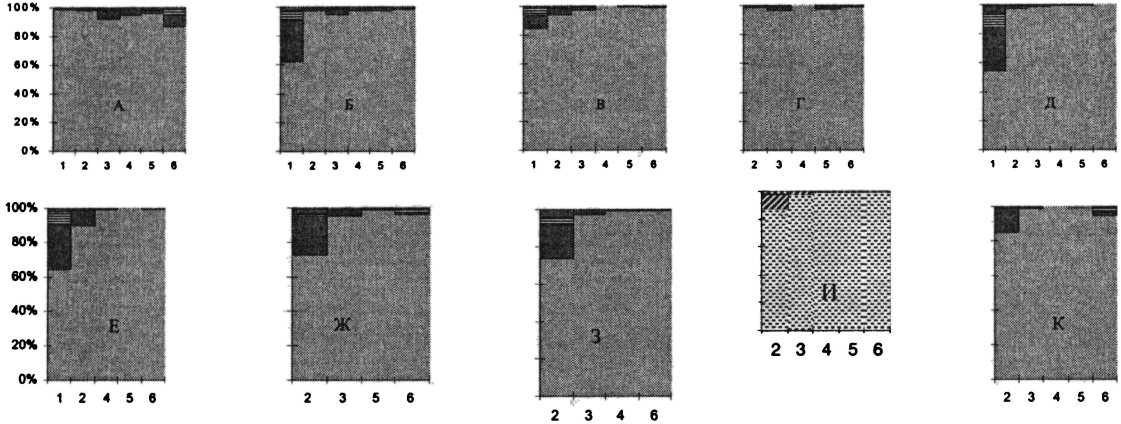


Рис. 2 Динамика численности (% от общей) доминирующих типов фитопланктона в различных регионах Белоярского водохранилища в 1988 году

Места отбора:

А- район плотины;
Б - центр водоема напротив Теплого залива;
В - Теплый залив;
Г - Черемшанка;
Д - о-в Даманский;
Е - Генеральская дача;
Ж - центр водоема напротив Щучьего залива;
З - Щучий залив;
И - ЛЭП;
К – верховье.

Даты отбора: 1 - 30.06; 2 - 20.07; 3 - 29.07; 4 - 9.08; 5 - 19.08; 6- 29.08

Типы водорослей: **Синезеленые** **Зеленые** **Пирофитовые** **Диатомовые** **Прочие**

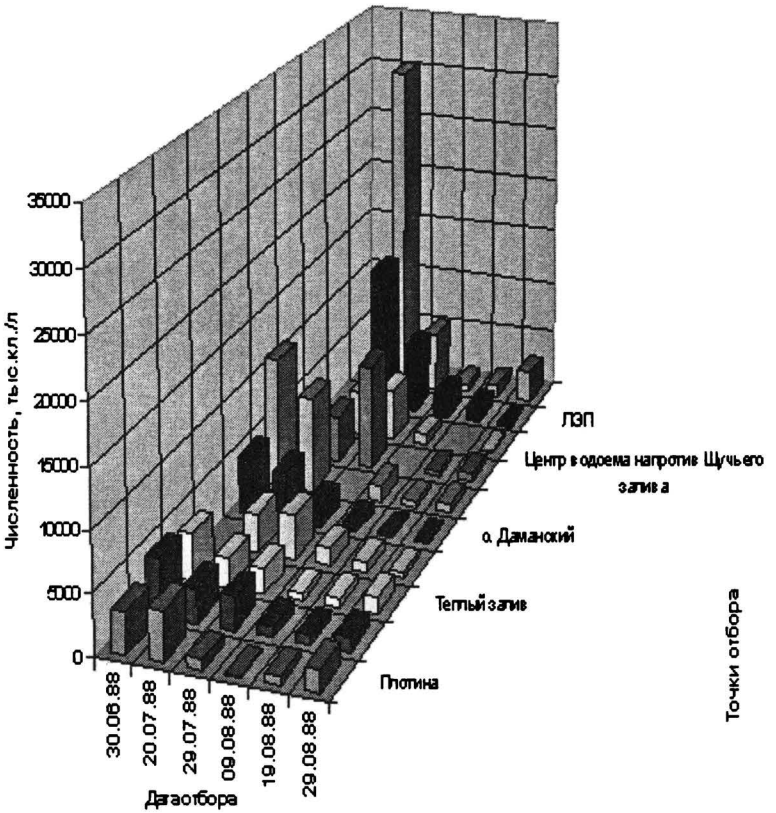


Рис. 3.1 Динамика численности зеленых водорослей

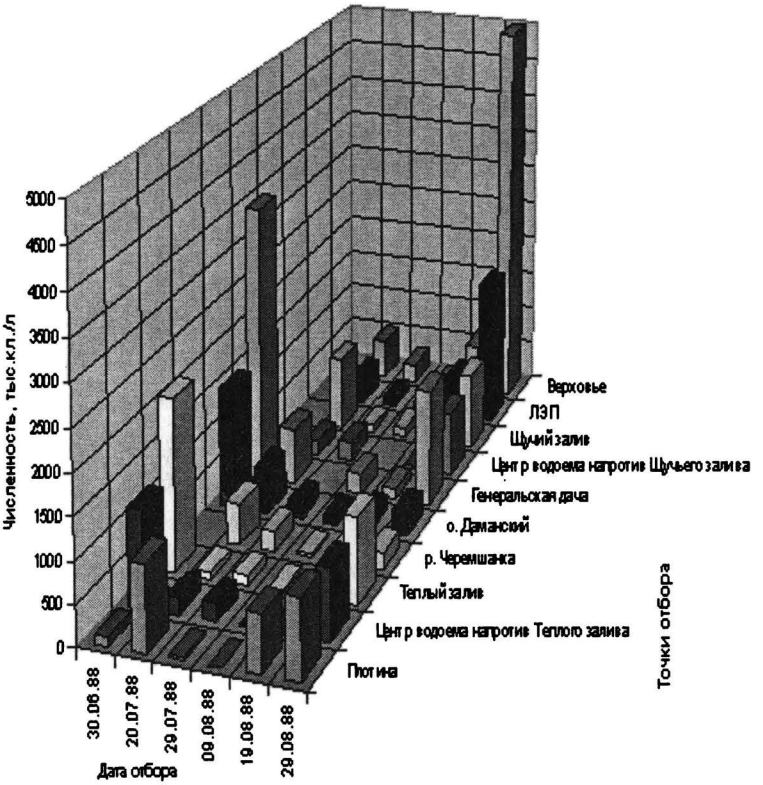


Рис. 32 Динамика численности пирофитовых водорослей.

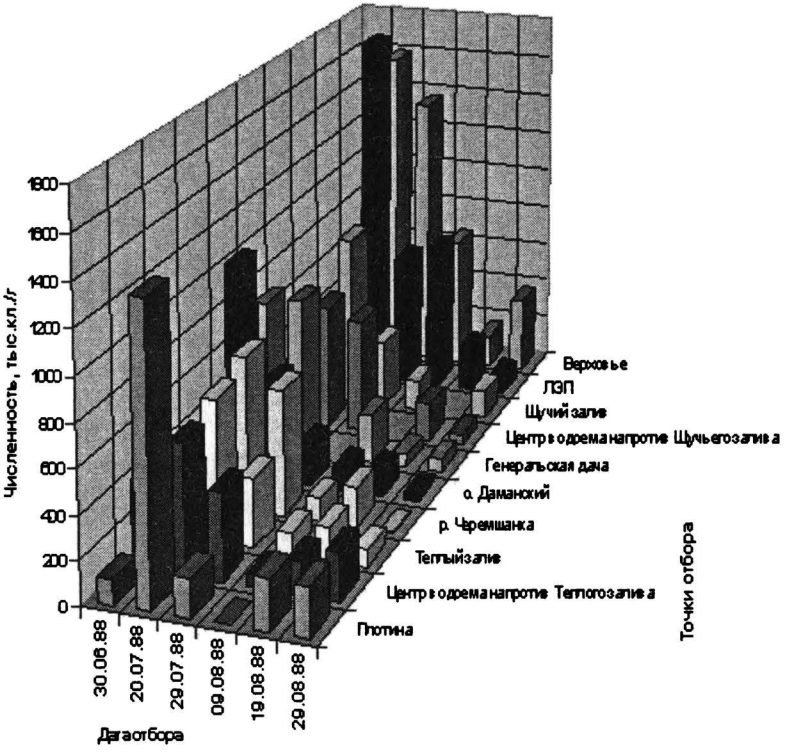


Рис.3.3 Динамика численности диатомовых водорослей.

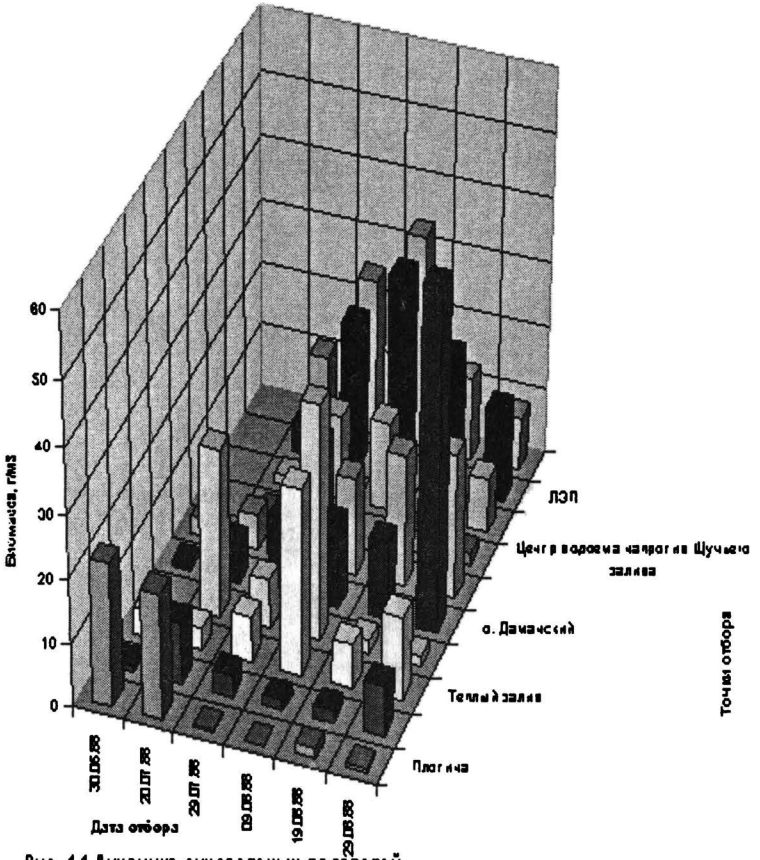


Рис. 4.1 Динамика синезеленых водорослей

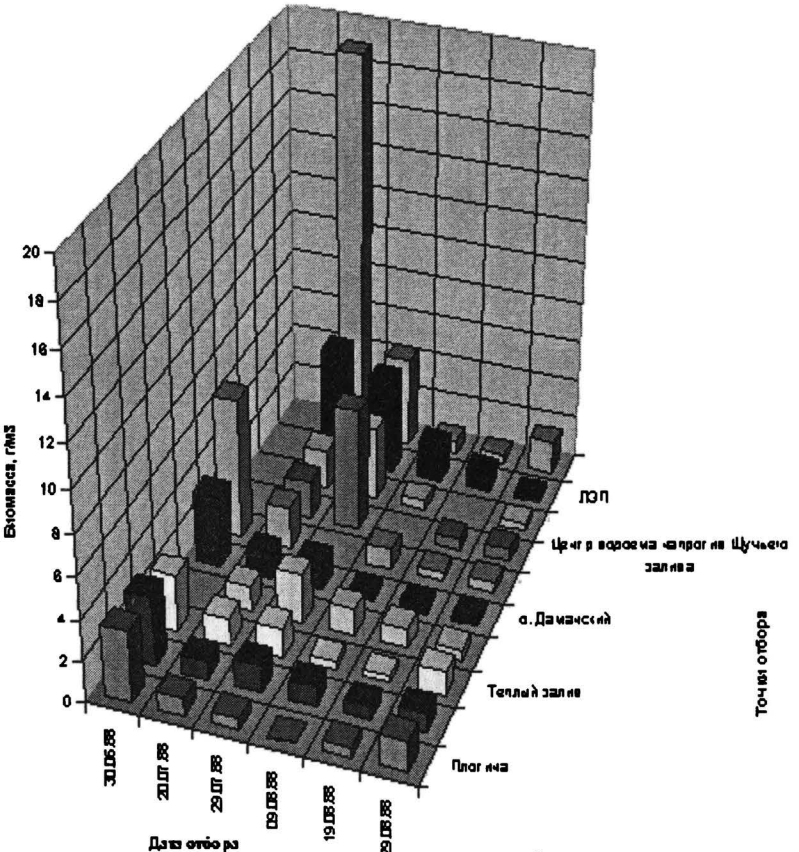


Рис. 4.2 Динамика биомассы зеленых водорослей.

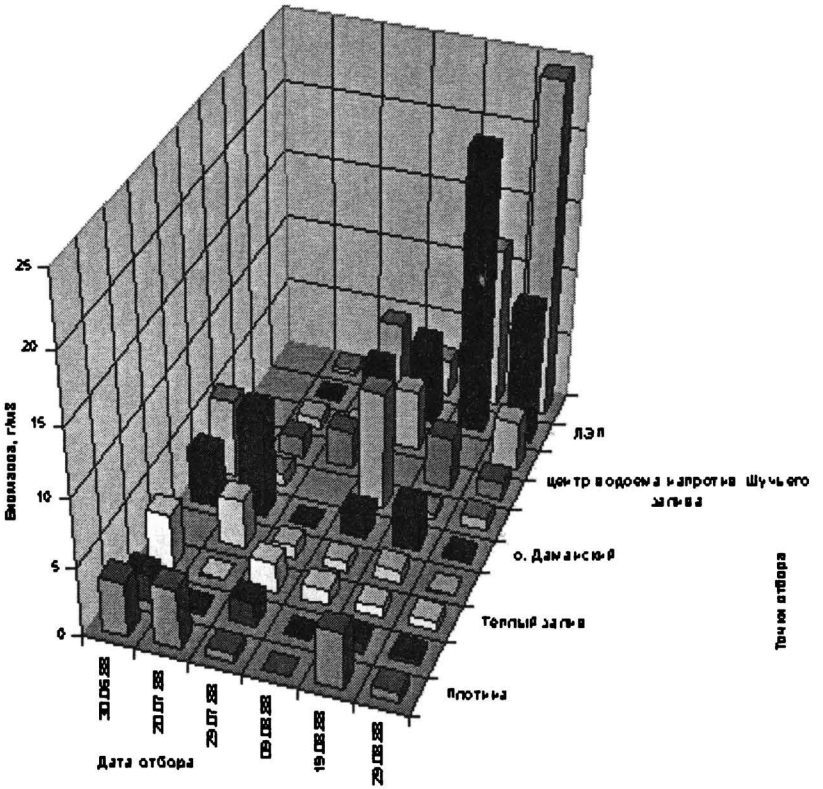


Рис. 4.3 Динамика биомассы пирофитовых водорослей.

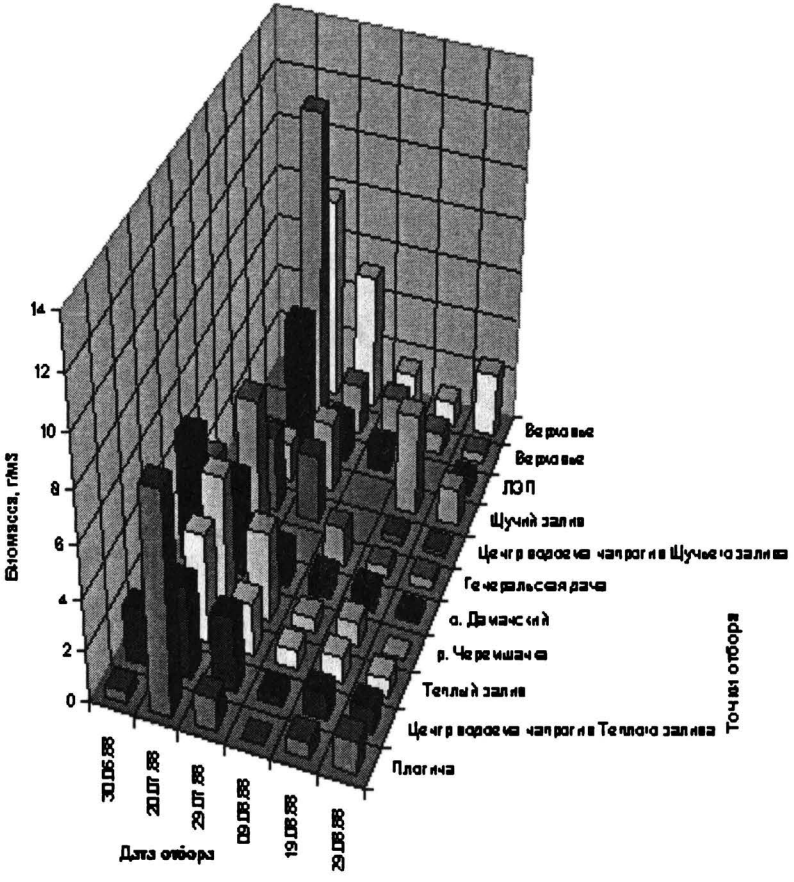


Рис. 4.4 Динамика биомассы диатомовых водорослей

Рассмотрим динамику биомассы фитопланктона в зависимости от сроков наблюдений. Первый отбор проб был проведен 30.06.88 г. на ограниченной территории, включающей только нижнюю часть водохранилища. Как видно из рис. 5.1, в это время наиболее обильным оказался фитопланктон в районе плотины (до 30 г/м^3). В нем преобладали синезеленые водоросли с наиболее массовыми формами *Microcystis aeruginosa* и *Aphanizomenon flos-aquae*. В остальной части обследованной акватории , включая Теплый залив , общая биомасса водорослей была значительно ниже (9-20 г/м^3), при этом, кроме синезеленых, более или менее равномерно встречались другие типы с их ведущими формами: зеленые (*P. duplex, Coelastrum microporum*), пирофитовые (*Cryptomonas Marssonii*), диатомовые (*Stephanodiscus sp.*).

В третьей декаде июля синезеленые продолжают лидировать в нижней части водоема (рис. 5.2). При этом также увеличилась биомасса диатомовых (за счет распространения *Stephanodiscus sp.*), которые в зоне подогрева вышли на первое место. В средней части водоема (Щучий залив, ЛЭП) в это время также преобладали диатомовые, а в верховье - зеленые за счет распространения водоросли *P. duplex*, биомасса которой составила 44% от общей биомассы фитопланктона

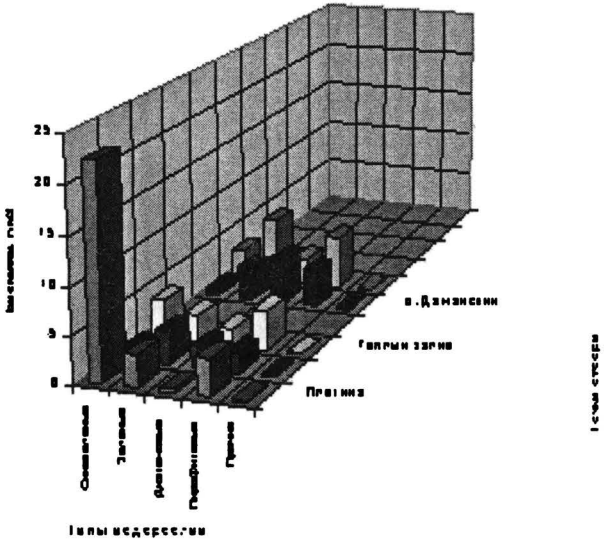


Рис. 5.1 Динамика биомассы преобладающих типов водорослей от 30.06.88

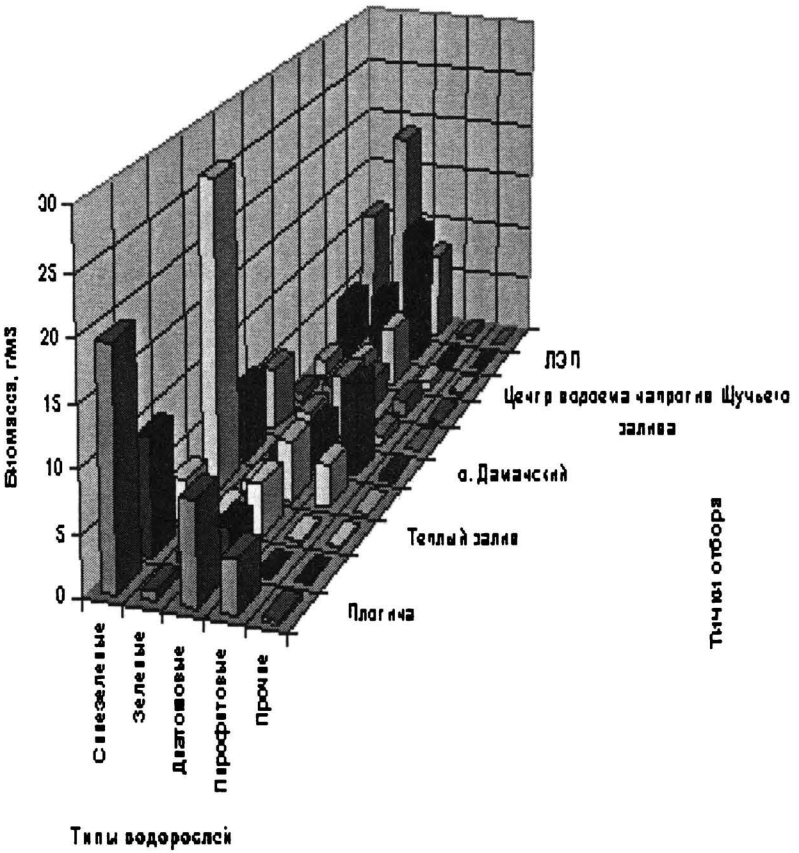


Рис. 5.2 Динамика биомассы преобладающих типов водорослей от 20.07.88

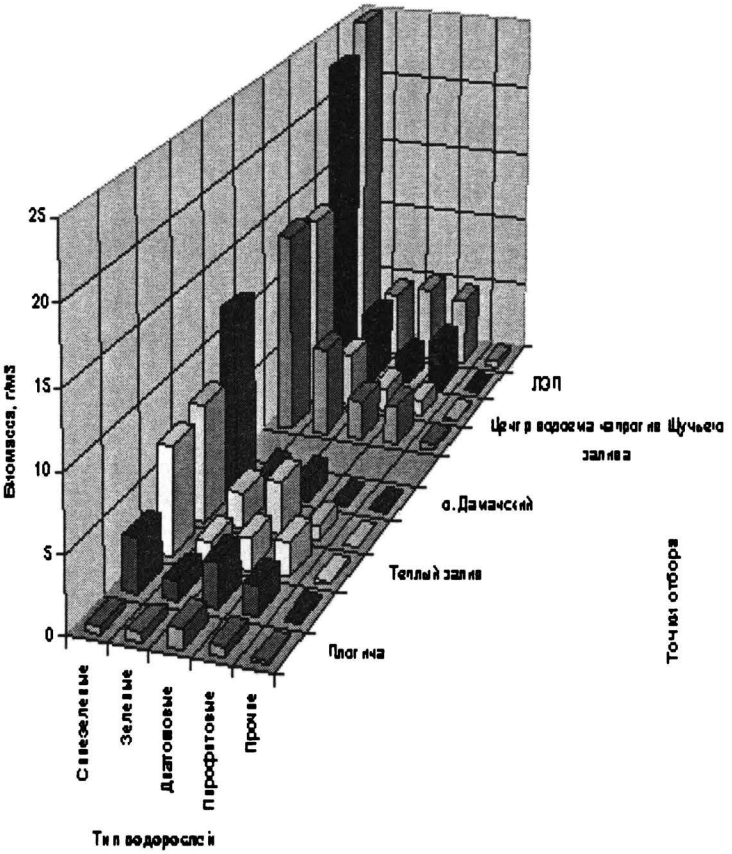


Рис. 5.3 Динамика биомассы преобладающих типов водорослей от 29.07.88

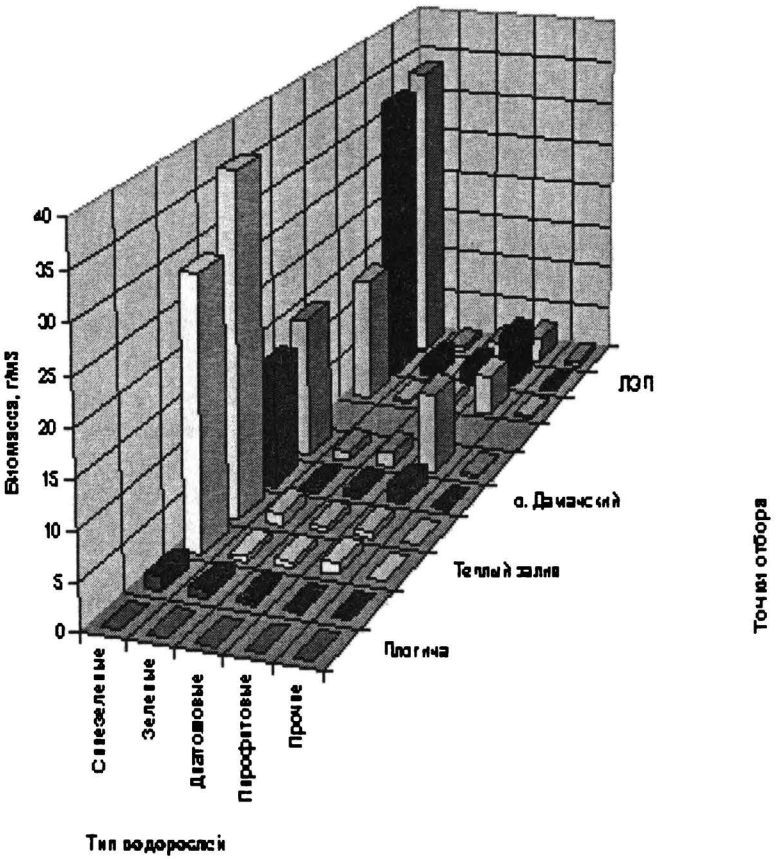


Рис. 5.4 Динамика биомассы преобладающих типов водорослей от 09.08.88

В последних числах июля синезеленые водоросли снова заняли лидирующее положение практически по всему водоему (за исключением района плотины, где биомасса фитопланктона резко снизилась) (рис. 5.3). В целом, биомасса синезеленых в этот период отчетливо возрастала от плотины к верховью водоема, что, очевидно, было обусловлено массовым развитием водоросли *M. Aeruginosa*, биомасса которой в ряде случаев достигала 70% от общей биомассы фитопланктона. Следует заметить, что в это время наблюдается самая высокая за летний период температура воды в Белоярском водохранилище (в Теплом заливе 27 ^{0} С, в остальной акватории - 23 - 24^{0}С).

В начале августа картина практически не отличалась от предыдущей. Синезеленые продолжали лидировать по всей акватории водоема, начиная от Теплого залива до верховья, и лишь в нижней части водохранилища их биомасса продолжала снижаться (рис.5.4). В качестве доминирующего вида оставалась водоросль *M. aeruginosa*. Вклад остальных типов в биомассу фитопланктона оказался незначительным, за исключением пирофитовых, биомасса которых в средней и верхней части водоема составляла 2-8 г/м^{3}.

Во второй декаде августа, на фоне общего преобладания синезеленых, в нижней части водоема (район плотины) они сменились пирофитовыми за счет развития водоросли *C. hirundinella* (51% от общей биомассы). Наряду с *M. aeruginosa*, эта водоросль распространилась в верхней акватории водоема (от 20 до 46% от общей биомассы), что позволило пирофитовым занять по биомассе второе место после синезеленых (рис.5.5).

В последних числах августа при лидирующем положении синезеленых в нижней и средней акватории водоема, в верховье на первое место выходят пирофитовые, биомасса которых достигает 65% от общей биомассы фитопланктона (рис.5.6). При явном преобладании *M. aeruginosa* по всему водоему, здесь получает большее распространение *C. hirundinella*, биомасса которого достигает 39% от общей биомассы фитопланктона.

Проведенное обследование фитопланктона Белоярского водохранилища показало, что по значениям численности и биомассы за наблюдаемый период различий между Теплым заливом и остальными точками наблюдений, расположенными в нижней и средней части водохранилища (ПТН 1, 2, 4 - 8) не выявлено, что подтверждается результатами статистической обработки соответствующих данных с помощью критерия t (уровень значимости 5%). В то же время, в верхней части водоема (ПТН 9, 10) отмечено достоверное увеличение биомассы фитопланктона, а в районе ЛЭП (ПТН 9) - еще и численности по сравнению с Теплым заливом. С нашей точки зрения, это увеличение не связано с влиянием сброса подогретых вод ввиду большой удаленности указанного региона вверх по течению от места сброса, а может быть объяснено особенностями гидрохимического режима в верхней части водоема. Основная особенность заключается в сильном влиянии зарегулированной реки Пышмы. Концентрация главных ионов (Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^{+}, K^{+}, сульфатов и др.) в речной воде в 1,3 - 1,7 раз выше, чем в нижних створах водохранилища. Содержание фосфора и азота в воде реки Пышмы в 20 и более раз превосходит их концентрацию в водоеме на траверзе БАЭС. Река приносит в год 78 т фосфора и 503 т азота, что обеспечивает возможность образования высокой биомассы ряски и фитопланктона вплоть до «цветения» воды (Отчет..., 1988).

Ведущий комплекс с учетом численности и биомассы фитопланктона насчитывает от 1 до 3 видов водорослей как в Теплом заливе, так и остальной акватории водоема. В целом по водоему за наблюдаемый период 1988г. преобладает *M. aeruginosa*.

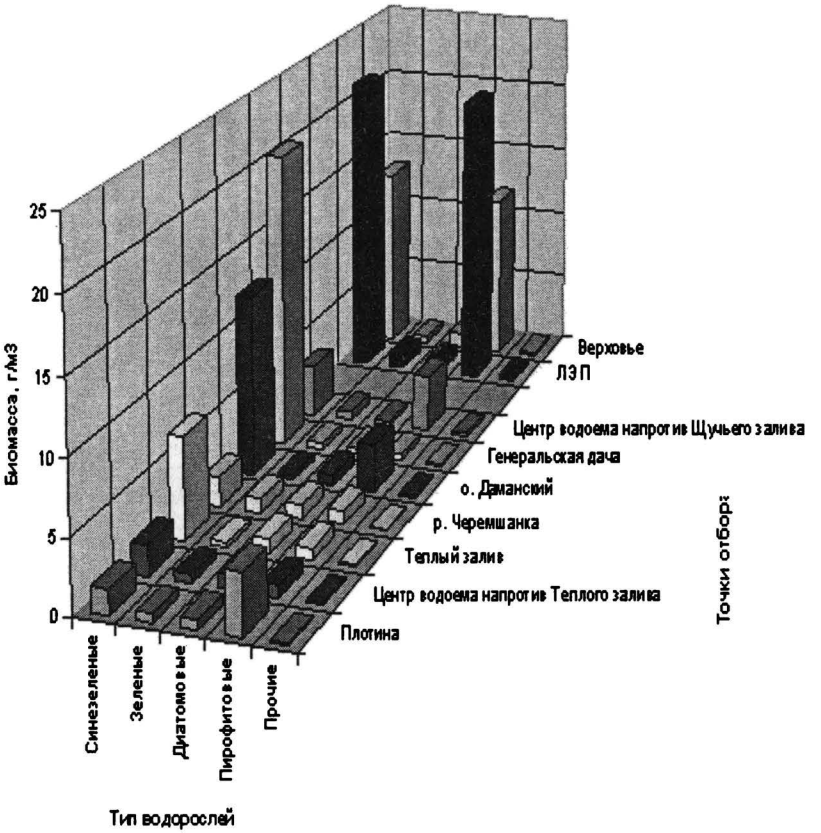


Рис.5.5 Динамика биомассы преобладающих типов от 19.08.88

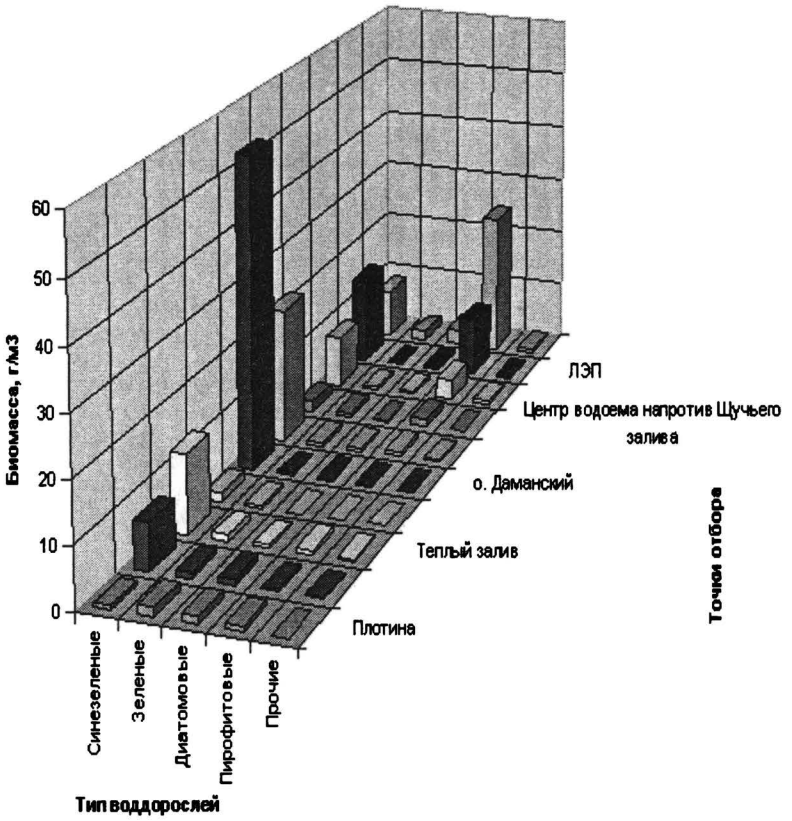


Рис.5.6. Динамика биомассы преобладающих типов водорослей от 29.08.88

2. Видовой состав, численность и биомасса зоопланктона

Зоопланктон Белоярского водохранилища изучали в двух ключевых точках - зоне сброса подогретых вод (Теплый залив) и контрольном районе, расположенном за пределами влияния зоны подогрева (Щучий залив). В процессе изучения видового состава, численности и биомассы зоопланктона были взяты шесть временных точек (июнь, июль, август 1986 и 1988г.г.). В табл.3 приведены усредненные данные по всем срокам наблюдений.

Всего в водоеме зарегистрировано 16 видов зоопланктонных организмов, относящихся к двум классам - ракообразных (отряд ветвистоусых - 9 видов, отряд веслоногих - 2 вида) и коловраток (5 видов). Как оказалось, видовой состав зоопланктона сравниваемых акваторий довольно близок по составу (коэффициент видового сходства 82,7%).

По численности зоопланктон на 80-90% представлен ракообразными, причем ветвистоусые и веслоногие находятся примерно в одинаковых пропорциях. Коловратки составляют от 9 до 16% общей численности зоопланктона.

Биомасса зоопланктона на 90-99% состоит из ракообразных, при этом ветвистоусые (75-85%) сильно преобладают над веслоногими (15-20%). Коловратки составляют всего лишь 1-5% от биомассы зоопланктона.

Нами установлено, что средний показатель численности зоопланктона в Теплом заливе в 4, а биомассы в 7 раз ниже, чем в контрольном регионе (табл. 4). Обработка результатов с помощью t-критерия методом парных сравнений в логарифмической шкале измерений позволила выявить достоверные различия (при 5% уровне значимости) в численности и биомассе зоопланктона обследуемых акваторий. Последнее свидетельствует о том, что в Теплом заливе, прилегающем непосредственно к Белоярской АЭС, наблюдается явное угнетение зоопланктона, проявляющееся в снижении его численности и биомассы по сравнению с контрольным регионом, куда подогретые воды не поступают. В этом плане зоопланктон является более чувствительным объектом по отношению к повреждающим факторам, связанным с работой охлаждающих систем АЭС, чем фитопланктон.

Таблица 3

Видовой состав, численность (экз./м^3) и биомасса (мг/м^3) зоопланктонных организмов в Теплом и Щучьем заливах Белоярского водохранилища (усредненные данные за 1986 и 1988 гг.)

Точки отбора / Видовой состав	Теплый залив		Щучий залив	
	численность	биомасса	численность	биомасса
Р а к о о б р а з н ы е				
Ветвистоусые:				
Bosmina longirostris (Müll.)	17 (1-100)	0,47 (0,03-2,80)	0	0
B. kessleri (Uljan.)	3578 (360-16421)	121,66 (12,24-558,31)	8993 (142-19158)	305,75 (4,83-651,37)
B. obtusirostris (Sars.)	0	0	820 (2-3600)	41.00 (0.10-180.00)
Bythotrephes cederstromii (Leydig)	0	0	33 (1-200)	40,00 (1,2-240,00)
Chydorus sphaericus (Müll.)	10547 (133-58863)	94,92 (1,20-529,77)	42386 (421-253474)	381,47 (3,79-2281,27)
Daphnia cristata (Sars.)	875 (200-5053)	126.95 (29.01-732.69)	7470 (1547-20640)	1083.22 (224.33-2992.80)
D. pulex (De Geer.)	1994 (1320-5500)	438.61 (290.40-1210.00)	19890 (1263-102000)	4375.91 (277.90-22440.00)
Diaphanosoma brachyurum (Liev.)	334 (111-1895)	30.76 (10.19-174.34)	3953 (2668-21053)	36.72 (245.00-1936.88)
Leptodora Kindtii (Focke)	54 (2-200)	5.43 (0.20-20.00)	224 (142-1200)	22.37 (14.2-120.00)
Веслоногие:				
Cyclops vicinus (Uljan.)	1504 (200-4800)	37,60 (5-120,00)	2044 (240-8421)	51,10 (6,00-210,53)
Diaptomus gracilоides (Lill.)	5793 (1768-10800)	173,78 (53,04-309,00)	33082 (1684-96800)	992,47 (50,52-2904,00)
Молодь	11236 (2880-29600)	3,37 (0,86-8,88)	48658 (3432-93800)	14,56 (1,03-28,14)
К о л о в р а т к и				
Asplanchna priodonta (Gosse)	2433 (200-14400)	48,67 (4,00-288,00)	409 (1-1263)	8,59 (0,02-25,26)
A. sp.	120 (1-720)	7,44 (0,06-44,64)	737 (400-2526)	45,63 (25,00-156,61)
Kellicottia longispina (Kell.)	636 (222-1263)	0,16 (0,06-0,32)	1509 (10-7368)	0,38 (0-1,84)
Keratella quadrata (Müll.)	3662 (1200-15400)	1,83 (0,57-7,70)	12185 (2947-34080)	6,09 (1,47-17,04)
K. cochlearis (Gosse)	22 (1-133)	0	140 (1-842)	0,01 (0-0,05)
Всего	**42805**	**1091,65**	**182533**	**7732,33**

3. Накопление радионуклидов планктоном

Ранее было показано, что в 1986г., до вывода из эксплуатации второго энергоблока Белоярской АЭС, концентрация ^{60}Co, ^{90}Sr,^{137}Cs в планктоне водосбросного канала была заметно выше, чем водозаборного, что свидетельствует о некотором дополнительном поступлении их в Теплый залив из системы охлаждения АЭС. После вывода из эксплуатации второго энергоблока (1990-1991 г.г.) концентрация ^{60}Co и ^{137}Cs в обоих каналах практически не различалась (Гусева, Чеботина, 2000).

Поскольку планктон, как и все живые организмы является биоиндикатором радиоактивного загрязнения воды, представляло интерес оценить содержание радионуклидов в планктоне Теплого залива, куда поступают подогретые воды из водосбросного канала, и сравнить его с более удаленным районом, не испытывающим воздействия теплых вод (Щучий залив). Пробы планктона в Теплом заливе отбирали выше дамбы, между устьем водосбросного канала и садковым хозяйством, чтобы исключить попадание радионуклидов непосредственно из промливневого канала (ПЛК).

В табл. 5 приведено содержание радионуклидов в планктоне обследованных регионов Белоярского водохранилища за 1986 и 1988 гг.. Видно, что показатели накопления за период наблюдений варьируют в пределах: ^{60}Co - от 20 до 1000, ^{90}Sr -от 6 до 400, ^{137}Cs -от 30 до 900 Бк/кг сухой массы. Статистическая обработка данных с помощью критерия Кохрена позволила установить неоднородность выборки ($F_Э$ / $F_{0,05}$ >1), что может быть обусловлено дополнительным поступлением радионуклидов от АЭС. С помощью двухфакторного дисперсионного анализа (Налимов, 1960) в процессе обработки всей совокупности данных концентрации ^{60}Co, ^{90}Sr и ^{137}Cs и времени наблюдений была установлена существенная разница по содержанию радионуклидов в планктоне Теплого и Щучьего заливов (при 5% уровне значимости). Последнее свидетельствует о вкладе АЭС в загрязнение планктона зоны подогрева по сравнению с контрольным регионом. Поступление радионуклидов в Теплый залив возможно с водным потоком от ПЛК и нагорной канавы (обводной канал), расположенных выше по течению от места забора воды в системы охлаждения станции, откуда они далее через водосбросной канал попадают непосредственно в район сброса. С другой стороны, повышение концентрации радионуклидов в планктоне зоны подогрева может быть отчасти объяснено температурным эффектом, то есть воздействием повышенной температуры воды в зоне подогрева на процессы накопления химических элементов, в том числе и радионуклидов (Куликов, Ожегов, Чеботина, Боченин, 1992; Чеботина, Трапезников, Трапезникова, Куликов, 1992).

Из табл.5 также видно, что концентрация всех трех радионуклидов в планктоне в 1988 г. была ниже, чем в 1986 г. Обработка результатов с помощью t - критерия подтвердила достоверность указанных различий. Мы полагаем, что это обусловлено общей тенденцией к снижению концентрации радионуклидов в компонентах водоема-охладителя к моменту вывода из эксплуатации второго энергоблока Белоярской АЭС (Чеботина и др., 1992).

Представляло интерес оценить концентрацию радионуклидов в планктоне непосредственно в самом Белоярском водохранилище. Для этой цели в июле и августе 1989г. планктон отлавливали в центральных акваториях Белоярского водохранилища от района Теплого залива до Биофизической станции (I) и от верховья до Щучьего залива (II).

Из табл. 6 видно, что лишь в одном случае (^{137}Cs в июле 1989г.) концентрация изотопа в верхней части водохранилища оказалась в 2,5 раза выше, чем в нижней, что, очевидно, связано с работой станции. В остальных случаях различий между указанными акваториями не наблюдалось. Следует также заметить, что в 1989 г. наблюдалось дальнейшее снижение концентрации изотопов в планктоне по сравнению с 1986 и 1988гг. (табл. 5), о чем было сказано выше.

Исходя из приведенных данных, средние концентрации радионуклидов в планктоне Белоярского водохранилища за период наблюдений составляли: для ^{60}Co - 105, ^{90}Sr - 23, ^{137}Cs - 171 Бк/кг сухой массы. Из расчетов исключены данные по Теплому заливу, занимающему незначительную часть акватории водоема, так как они менее представительны для водоема в целом, чем данные по остальной акватории.

Таблица 4

Численность (экз./м^3) и биомасса (мг/м^3) зоопланктона в Теплом и Щучьем заливах Белоярского водохранилища

Дата отбора	Численность		Биомасса	
	Теплый залив	Щучий залив	Теплый залив	Щучий залив
Июнь 1986г.	47 200	306 800	1 590	25 830
Июль 1986г.	14 400	127 200	590	7 150
Август 1986г.	13 800	17 962	500	1 170
Июнь 1988г.	48 530	236 000	370	4 820
Июль 1988г.	25 665	79 260	1 120	880
Август 1988г.	107 240	328 000	2 380	6 590
Среднее	**42 800**	**182 540**	**1 090**	**7 740**

Таблица 5

Концентрация радионуклидов в планктоне зоны сброса подогретых вод и контрольном регионе, Бк/кг сухой массы

	^{60}Co		^{90}Sr		^{137}Cs	
Время отбора	Теплый залив	Щучий залив	Теплый залив	Щучий залив	Теплый залив	Щучий залив
Июнь-1986	973±114	136±31	78±39	40±22	882±137	264±59
Июль-1986	107±22	85±18	174	69±47	196±24	129±28
Август-1986	602±67	310±19	316±72	54±15	544±44	614±29
Среднее	**561**	**177**	**189**	**54**	**540**	**336**
Июнь-1988	278±19	28±3	36±15	7±0,6	604±53	131±6
Июль-1988	33±3	19±1,5	6±1	12±2	47±7	37±5
Август-1988	53±5	54±7	10±5	8±1	88±18	204±23
Среднее	**121**	**33,4**	**54**	**9**	**246**	**124**

3. Вычисление баланса радионуклидов в водоеме

В проведенных ранее расчетах баланса радионуклидов в Белоярском водохранилище вклад планктона не учитывали ввиду отсутствия соответствующих данных (Чеботина и др., 1992). В данной работе мы ввели поправку в расчет, принимая во внимание вновь полученные результаты по биомассе и радиоактивности планктона. При этом использовали следующие характеристики:

1.Объем воды в Белоярском водохранилище - 265 млн м^3;

2.Концентрация радионуклидов (усредненные данные за весь период наблюдений) - ^{60}Co - 105, ^{90}Sr - 23, ^{137}Cs - 171 Бк/кг сухой массы (или 120, 18 и 115 Бк/кг сырой массы соответственно);

3.Средняя биомасса планктона - 25 г/м^3

Расчеты показали, что суммарное содержание радионуклидов в планктоне Белоярского водохранилища в течение летнего вегетационного сезона оказалось равным: 736 МБк ^{60}Co, 109 МБк ^{90}Sr, 709 МБк ^{137}Cs, что составило соответственно 0,3, 0,09 и 0,11 % от общего количества радионуклидов в водоеме. Таким об разом, планктон удерживает в себе примерно в 28, 9 и 47 раз больше соответственно ^{60}Co, ^{90}Sr и ^{137}Cs, чем макрофиты водоема. Поскольку продолжительность жизни планктонных организмов много меньше по сравнению с растениями, можно заключить, что интенсивность кругооборота поступающих от АЭС радионуклидов в сообществах планктонных организмов протекает более интенсивно, чем в сообществах растений.

Таблица 6

Концентрация радионуклидов в планктоне центральных акваторий водоема, Бк/кг сухой массы

Район	Июль 1989 г.		Август 1989 г.	
	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs
I	7±0	81±1	5±1	49±1
II	6±1	28±1	8±2	53±1
Среднее	**6,5**	**55**	**6,5**	**51**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Васильева И.И. Эвгленовые и желтозеленые водоросли Якутии. Л.:Наука, 1987. 364 с.

2 Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2.Синезеленые водоросли. М.: Сов. наука, 1953. 650 с.

3 Гусева В.П., Чеботина М.Я. Изменение численности, биомассы и химического состава планктона под влиянием системы охлаждения Белоярской АЭС// Экология. 2000. №1. С. 28 - 34.

4 Гусева В.П., Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Куликов Н.В. ^{60}Co, ^{90}Sr и ^{137}Cs в планктоне водоема- охладителя АЭС // Экология. 1989. № 5. С. 73 - 75.

5 Елагина Т.С. Зоопланктон Горьковского водохранилища в регионе Костромской ГРЭС // Экология организмов водохранилищ - охладителей. Л.: Наука. 1975. С. 244 - 257.

6 Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. М.: Сов. наука, 1951. 619. с.

7 Караваева Е.Н, Куликов Н.В, Молчанова И.В. Радиоэкологические исследования природных экосистем в зоне сброса жидких отходов Белоярской АЭС на Урале // Экология регионов атомных станций (под ред. Ю.А. Егорова). НИО ЭАС «Атомэнергопроект», М., 1994. Вып.1. С. 105.

8 Киселев И.А. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 5. Пиофитовые водоросли. М.: Сов. наука, 1954. 208 с.

9 Комаренко Л.Е., Васильева И.И. Пресноводные зеленые водоросли водоемов Якутии. М.: Наука, М., 1978. 282 с.

10 Краткий определитель водных беспозвоночных среднего Поволжья. Под ред. В.Л.Вагина, Х.М. Курбангалиева. Казань. Казанский университет. 1977. 160 с.

11 Куликов Н.В, Ожегов Л.Н., Чеботина М.Я., Боченин В.Ф. Накопление радионуклидов пресноводными гидробионтами при разной температуре воды// Проблемы радиоэкологии водоемов-охладителей атомных электростанций. Свердловск. 1978. С. 65 - 69.

12 Куликов Н.В, Трапезникова В.Н., Трапезников А.В. Содержание ^{137}Cs в садковой и свободноживущей рыбе Белоярского водохранилища // Поведение радиоизотопов в водоемах и почвах. Свердловск, 1983. С. 27 - 30.

13 Куликов Н.В, Молчанова И.В., Караваева Е.Н. .Радиоэкологическое изучение природных экосистем в зоне Белоярской АЭС // Методы биоиндикации окружающей среды в регионах АЭС. М., 1988. С. 137 - 142.

14 Куликов Н.В, Реч Т.А., Трапезников А.В, Чеботина М.Я. Тритий в регионе Белоярской АЭС на Урале // Экология регионов атомных станций (под ред. Ю.А. Егорова). НИО ЭАС «Энергоатомпроект», М., 1996. С. 251 - 263.

15 Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. Под ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовского. М.: Наука, 1975. 240 с.

16 Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах // Фитопланктон и его продукция. Л.: Изд-во ГосНИОРХ, 1984. 32 с.

17 Молчанова И.В., Караваева Е.Н, Чеботина М.Я, Куликов Н.В. Распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs по компонентам болотно-речной экосистемы // Экология. 1982. №2. С. 45 - 49.

18 Молчанова И.В., Караваева Е.Н, Куликов Н.В. .Некоторые итоги радиоэкологического изучения природных экосистем в районе Белоярской АЭС // Экология. 1985. №5. С. 30 - 34.

19 Отчет «Разработать прогноз гидробиологического и гидрохимического режима водохранилища БАЭС на уровень 1995 - 2000г. с выдачей рекомендаций по улучшению биологического состава водохранилища». Урал НИИВХ. Свердловск. 1988. 137 с.

20 Трапезникова В.Н, Трапезников А.В, Куликов Н.В. Накопление ^{137}Cs в промысловых рыбах водоема-охладителя Белоярской АЭС // Экология. 1984. №6. С. 36 - 39.

21 Трапезников А.В, Чеботина М.Я., Трапезникова В.Н.., Куликов Н.В. ^{60}Co, ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде Белоярского водохранилища // Экология. 1992. № 4.С. 78 - 81.

22 Трапезникова В.Н, Чеботина М.Я, Трапезников А.В, Куликов Н.В. ^{60}Co, ^{90}Sr и ^{137}Cs в макрофитах водоема-охладителя Белоярской АЭС // Экология. 1993. № 4.С. 86 - 88.

23 Чеботина М.Я, Трапезников А.В, Трапезникова В.Н., Куликов Н.В Радиоэкологические исследования Белоярского водохранилища. УрО РАН. Свердловск. 1992. 77 с.

24 Чеботина М.Я, Лисовских В.Г., Реч Т.А. и др. О динамике прохождения жидких сбросов Белоярской АЭС через Ольховское болото // Экология. 1993. № 2.С. 88 – 90

25 Чеботина М.Я, Кулигин А.П., Реч Т.А., Колтик И.Н., Рафиков Е.М.. Поступление трития от БАЭС в водные экосистемы // Безопасность эксплуатации Белоярской АЭС. УрО РАН: Свердловск, 1994. С. 187 - 191.

26 Чеботина М.Я, Трапезников А.В, Гусева В.П., Куликов Н.В. ^{60}Co, ^{90}Sr и ^{137}Cs в грунтах водоема-охладителя АЭС // Экология. 1998. № 2. С. 70 - 73.

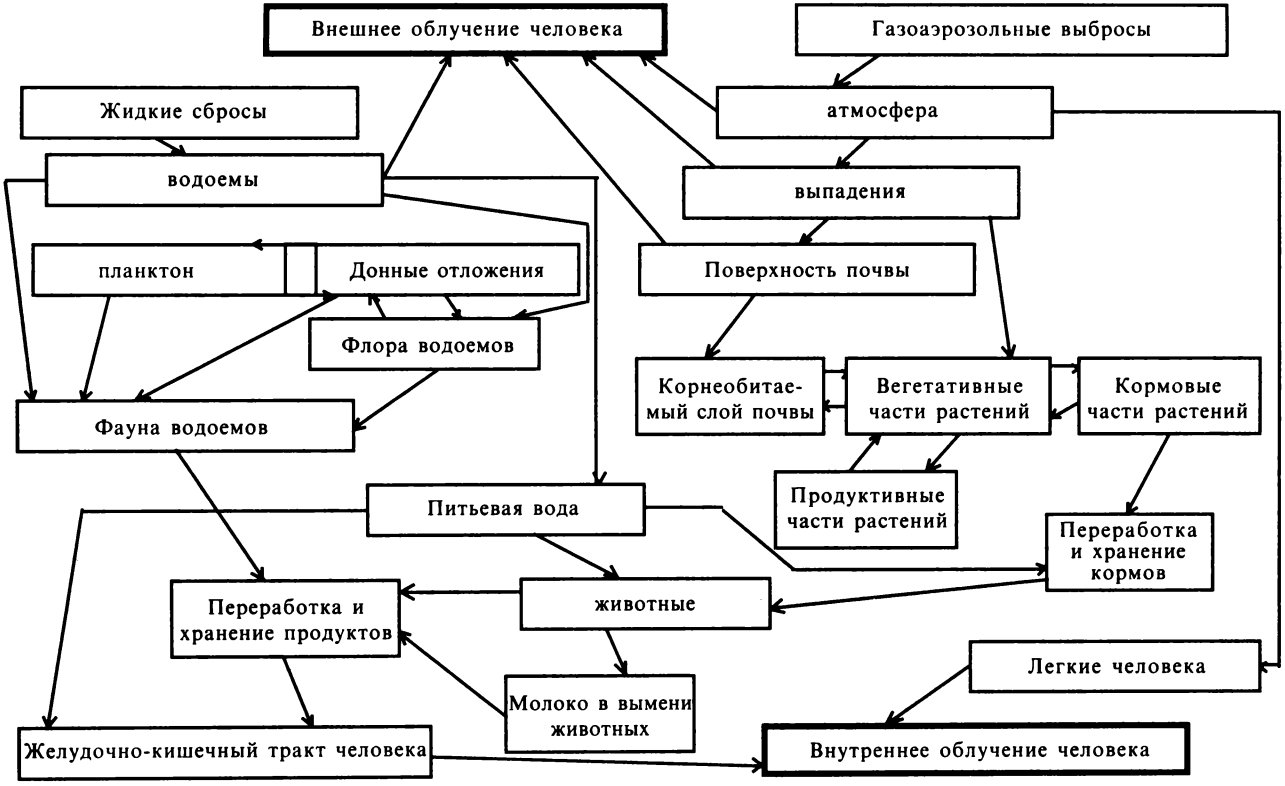


Рис. 1. Схема миграции радионуклидов во внешней среде

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ГАЗОАЭРОЗОЛЬНОГО ВЫХОДА И ЖИДКИХ СТОКОВ ОТ ЭНЕРГОБЛОКА БН-600

И.И. Колтик , Н.Н. Ошканов

Министерство Российской Федерации по атомной энергии
Концерн «Росэнергоатом»
Белоярская АЭС

В проблеме радиационной безопасности важное место занимают правильная оценка и прогнозирование доз от выбросов радиоактивных веществ во внешнюю среду от предприятий ядерного топливного цикла.

Основным критерием в оценке радиологической опасности являются дозовые нагрузки на население, а не их косвенные и опосредованные показатели – количество газоаэрозольных выбросов, жидких сбросов, концентраций радионуклидов в объектах внешней среды, уровни ионизирующих излучений и т.д., хотя контроль и нормирование и их необходимы.

Путь от выброшенных радиоактивных веществ во внешнюю среду до доз, создаваемых ими в организме человека, очень сложен. Схема миграции радионуклидов представлена на рис.1.

Первая трудность - существует большое разнообразие метеорологических, гидрологических и других природных свойств самих радионуклидов, специфики почв и производимой сельскохозяйственной продукции, характера диеты, демографических характеристик и др.

Сюда же нужно добавить сложности метаболизма радионуклидов в организме человека.

Вторая трудность – определение доз от выбросов объекта связана с наличием природного и антропогенного радиационного фона.

На БАЭС впервые для объектов атомной энергетики, в конце 70-х годов была разработана концепция совмещенного (позже он стал называться "гибридным") расчетно-измерительного мониторинга, в котором помимо непосредственных измерений используются расчеты, основанные на математических моделях распространения радионуклидов в окружающей среде, с учетом реального спектра радионуклидов, их количества, а также с учетом реальных местных метео-и гидрологических условий. С конца 80-х годов этот метод применяется на БАЭС практически.

Для оценки доз от газоаэрозольных выбросов была использована модель Пасквилла-Гиффорда для гауссового рассеяния за счет турбулентной диффузии. [14]. Методология расчета доз и производных характеристик включает в себя учет всех путей воздействия: поля внешнего излучения от радиоактивного облака и почвы, загрязненной радиоактивными веществами, внутреннего облучения от вдыхания радиоактивных газов и аэрозолей и поступления в организм человека с продуктами питания в результате миграции по пищевым и биологическим цепочкам.

Для оценки дозовых нагрузок на население за счет жидких сбросов были разработаны математические модели миграции радионуклидов в экосистеме «Ольховское болото – р.Ольховка – р.Пышма» (Сбросы дебалансных вод БАЭС проводятся с хозбытовыми стоками в Ольховское болото). Модели основываются

на результатах натурных измерений [3,5,6] . Методология расчета доз включает в себя учет всех путей воздействия: питьевая вода, потребление рыбы, поливное земледелие, водопой скота (мясо, молоко), купание (дети, взрослые), мытье машин. [3,4].

Для вычислений во ВНИИАЭС были разработаны соответствующие программы для ЭВМ.

Постоянный контроль выхода радионуклидов осуществляется на станции штатными методами с начала ее эксплуатации.

Для постоянного и непрерывного контроля метеоусловий сооружены 2 метеостанции – одна на промплощадке БАЭС, другая – в г.Заречный.

Кроме того, использовались метеоданные государственной станции Росгидромета в В-Дуброво, в З.Н. Белоярской АЭС.

Критической группой по газоаэрозольному пути облучения выбросов БАЭС является население города Заречный. Критической группой по пути облучения населения от жидких сбросов БАЭС до 1979 г. был г. Заречный, а с 1980 г. населенные пункты по тракту сброса (Ольховское болото-р.Ольховка – р.Пышма.

Обобщающие данные по индивидуальным дозовым нагрузкам приведены на рис.2.В таблице 1 представлены нормализованные коллективные дозы от выбросов и сбросов реакторов типа АМБ (I очередь БАЭС) и БН (II очередь БАЭС).Численность критической группы населения бралась 20000 чел (во время эксплуатации I очереди) и 40000 чел (во время эксплуатации бл.N 3) в г.Заречный. В таблице 2 приведены данные по коллективным дозам для других типов реакторов.

Таблица 1

Нормализованные коллективные дозы населения от реакторов БАЭС, чел-Зв/(ГВт-год).

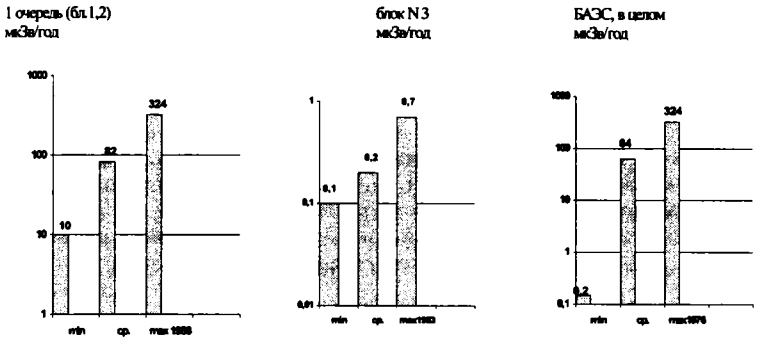
Параметр	АМБ-100,200	БН-600	За счет Н-3 на БН-600
Выбросы	5,6	0,0015	6.10^{-4}
Сбросы	1,4	0,0046	$(5\text{-}7)*10^{-4}$
Доза в целом	7,0	0,0061	0,001

Таблица 2

Нормализованные коллективные дозы населения
от разных типов АЭС. [7, 8], чел-Зв/(ГВт-год).

Параметр	PWR	BWR	GCR	HWR	РБМК	ВВЭР
Выбросы	0,27	0,97	1,13	13,9	2,6	0,276
Сбросы (H-3)	0,02	0,0006	0,097	0,30	0,002	0,024
Доза в целом	0,29	0,97	1,23	14,22	2,6	0,3

Дозы за счет газоаэрозольных выбросов



Дозы за счет жидких сбросов

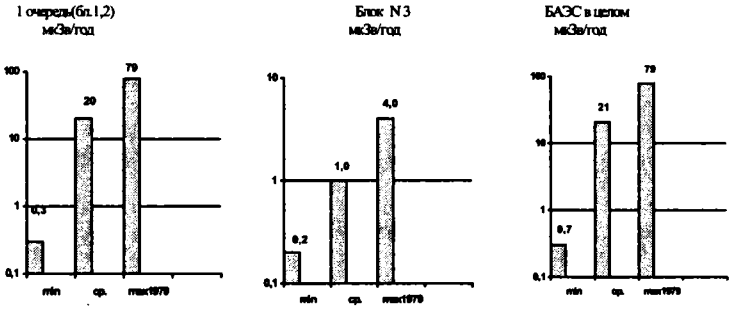


Рис.1 Индивидуальные дозовые нагрузки на критические группы населения за счет газоаэрозольных выбросов и жидких сбросов БАЭС

Для ВВЭР нормализованная коллективная доза составляет в среднем 0,3 чел-Зв/(ГВт-год), РБМК-2,6, а на канальных реакторах АМБ-100,200 – 7,0 чел-Зв/(ГВт-год).

Для наиболее распространенных зарубежных АЭС с PWR, на которых производится примерно 80 % электроэнергии, она составляет 0,29 и 0,97 чел-Зв/(ГВт-год) соответственно.[8].

Наиболее высокая доза характерна для тяжеловодных реакторов – около 14 чел-Зв/(ГВт-год), а наименьшая доза – для быстрых реакторов – около $7{,}0 \cdot 10^{-3}$ чел-Зв/(ГВт-год). Для всех типов реакторов в среднем доза от выбросов радионуклидов в атмосферу заметно выше, чем от сбросов в гидросферу (за исключением быстрых реакторов, где они примерно равны).

В таблице 3 представлены индивидуальные и коллективные риски для населения за счет выбросов и сбросов БАЭС. (Ri и $R\Sigma$ соответственно).

Таблица 3

Риски	АМБ-100,200	БН-600
Ri ср.(сумма выбросов и сбросов)	$7{,}5 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$	$8{,}8 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$
Ri max (сумма выбросов и сбросов)	$3{,}0 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$	$3{,}45 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$
R_{Σ}, коллективный	0,17 чел/год	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$ чел/год

Для сравнения – оцененная величина максимального индивидуального риска по всем регионам АЭС с ВВЭР, составляет Ri max $1{,}6 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$[9].

В заключение необходимо сделать следующие выводы:

1 За все время эксплуатации БАЭС (всех 3-х блоков) дозовые нагрузки на критические группы населения не превышали допустимых годовых пределов.

Так, средняя суммарная индивидуальная доза за все годы составляет 85 мкЗв/год, причем за счет газоаэрозольных выбросов – 64 мкЗв/год (при допустимой 200,0 мкЗв/год), а по жидким сбросам – 21 мкЗв/год (при допустимой 50 мкЗв/год).

За счет выбросов и сбросов блока с БН-600 средние индивидуальные дозы составляют 0,2 и 1,0 мкЗв/год, соответственно, что почти на два порядка ниже чем дозы от АМБ-100,200.

2 Коллективная нормализованная доза на население от выбросов и сбросов БН-600 составляет $7 \cdot 10^{-3}$ чел.Зв/(ГВт-год), что на три порядка ниже нормализованных коллективных доз от реакторов типа АМБ-100,200 и РБМК, и на два порядка ниже чем у реакторов типа ВВЭР (на которых в основном базируется атомная энергетика в России).[таб.1,2].

3 Средние индивидуальные риски для населения от реакторов АМБ-100,200 составляют $7{,}5 \cdot 10^{-6}$, а от БН-600 $8{,}8 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$.(максимальные риски – $3 \cdot 10^{-5}$ и $3{,}45 \cdot 10^{-7}$, соответственно), что во всех случаях не превышает предел индивидуального риска для населения, ПД= $5 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$ (НРБ-99).

Максимальный индивидуальный риск определяется выбросами и сбросами

реакторов АМБ-100,200 и составляет $3*10^{-5}$ год$^{-1}$,[табл.3].

Осредненный по всем регионам АЭС с ВВЭР максимальный индивидуальный риск составляет $1,6*10^{-5}$ год$^{-1}$ [9].

Таким образом, индивидуальные риски для реакторов типа БН примерно на два порядка ниже рисков от канальных реакторов и реакторов типа ВВЭР, и не превышают уровня пренебрежимого (безусловно приемлимого) риска, равного $1*10^{-6}$ за год.

Коллективный риск для БН-600 примерно на 3 порядка меньше чем от канальных реакторов типа АМБ-100,200 и РБМК.

4 Приведенный анализ индивидуальных и коллективных доз облучения населения, а также индивидуального и коллективного радиационных рисков от АЭС создают необходимые предпосылки для объективной комплексной оценки потенциальной опасности эксплуатации АЭС с различными типами реакторных установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Н.Г.Гусев, В.А.Беляев, Радиоактивные выбросы в биосфере, справочник, Энергоатомиздат,1991г.

2 В.В.Бадяев, Ю.А.Егоров, С.В.Казаков, Охрана окружающей среды при эксплуатации АЭС, Энергоатомиздат,1990г.

3 А.Л.Кононович, И.И.Колтик, Н.И.Кушнаренко, Т.Н.Рычкова, А.В.Трапезников, В.И.Трапезников. Оценка вклада радиоактивных стоков БАЭС в дозовую нагрузку на население. Отчет ВНИИАЭС и ИЭРиЖ УроАН, Москва, 1991г.

4 И.И.Колтик. Разработка методических основ контроля радиационного состояния внешней среды в районе расположения АЭС (на примере БАЭС). Диссертация на соискание ученой степени к.т.н.,г.Екатеринбург,1997г.,УГТУ-УПИ.

5 А.А.Абагян, А.Л.Кононович, И.И.Колтик и др. Анализ защитных свойств Ольховского болота. Отчет ВНИИАЭС,Москва,1992г.

6 А.Л.Кононович, В.И.Маковский, И.И.Колтик и др. Обстановка в районе расположения БАЭС, Атомная энергия,1991г., т.71,вып.3.

7 И.И.Крышев, НПО «Тайфун», Е.П.Рязанцев, РНЦ «Курчатовский институт». Оценка риска радиоактивного загрязнения окружающей среды при эксплуатации АЭС АЭ, 1998г., т.85,вып.2.

8 Sources, effects and risks of ionizing radiation. Unied Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: 1993 Report to the Assembly. E.94.IX.2. N 4.1993,1988 г.

9 Е.А.Иванов, Л.П.Хамьянов, ВНИИАЭС. Оценка влияния организационно-технических мероприятий на снижение радиационного риска для населения регион АЭС. Сборник рефератов, 8 . Научно-техническая конференция ЯО России, Екатеринбург, 1997г.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В РЕГИОНЕ НОРМАЛЬНО РАБОТАЮЩЕЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (КОНЦЕПЦИЯ, ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ, РЕАЛИЗАЦИЯ)

Ю.А. Егоров

ГНИПКИИ «Атомэнергопроект» (Московское отделение)

Вступление

Многочисленные данные не только научной, но и общедоступной литературы, указывают на то, что состояние среды обитания людей на нашей планете далеко от благоприятного. Более того, повсеместное развитие промышленности, энергетики, расширение сельскохозяйственных территорий, сопровождающееся вырубкой лесов, ведение интенсивного сельскохозяйственного производства, развитие транспорта, урбанизации с каждым годом ухудшают условия жизни людей на планете Земля. Наблюдается явное противоречие: предпринимаются усилия, чтобы сделать жизнь человека обеспеченной, удовлетворить большинство его потребностей, а эти усилия ухудшают условия жизни человека, снижают качество среды его обитания. Не может похвастаться благополучными условиями жизни своего населения и Россия: во многих городах, населенных пунктах нарушаются санитарно-гигиенические нормы качества атмосферного воздуха, воды, другие санитарно-гигиенические нормативы. На ряде территорий Сибири, Кольского полуострова, в Поволжье, в других районах серьезно страдает растительный покров, гибнут леса. Уже ряд территорий России объявлены зонами экологического бедствия, проживание людей на этих территориях не безопасно. Почти регулярно мы слышим, что у нас здоровы не более четверти детей.

В связи с таким тяжелым положением в окружающей нас природной среде в РФ приняты Законы, призванные оздоровить окружающую среду, исключить возможность ее нещадной эксплуатации, обеспечить ее благополучие и благополучие человека в ней, как теперь принято говорить, обеспечить устойчивое развитие общества. Это Законы «Об охране окружающей природной среды», «Об охране атмосферного воздуха», «Об атомной энергии», «О радиационной безопасности населения» и ряд других. Опираясь на требования этих законов и учитывая неблагополучное состояние окружающей нас среды, специалисты считают, что сегодня необходимо резко изменить стратегию природоохраны, а, следовательно, развития промышленности, энергетики, сельскохозяйственного производства: любой вид человеческой деятельности должен стать экологически безопасным [1]. Стратегия сегодняшнего энергетического и промышленного строительства, стратегия эксплуатации энергетических и промышленных объектов, ведения хозяйства и иных видов человеческой деятельности – это стратегия строительства экологически безопасных объектов, полный запрет на строительство и эксплуатацию объектов, способных нанести серьезный ущерб природному окружению, среде обитания (условиям жизни) людей. Согласно [1, 2] экологически безопасным считается объект деятельности, строительство и эксплуатация которого не ухудшают состояние среды обитания человека: не приводят к нарушению санитарно-

гигиенических нормативов качества условий жизни людей (качества атмосферного воздуха, воды, почв, продуктов питания), не нарушают сложившихся жизненных процессов биогеоценотического окружения объекта (не изменяют гомеостаза биогеоценозов) или нарушают, но в пределах, которые для данных биогеоценозов мы (люди) признаем допустимыми или приемлемыми.

Понятие экологической безопасности нашей деятельности есть понятие многомерное, так как жизненные процессы биогеоценозов, их состав структура, функциональная организованность характеризуются многими параметрами и для сохранения биогеоценоза в состоянии гомеостаза или допущение незначительных отступлений от состояния гомеостаза, например, в пределах колебаний состояния, обусловленных, условиями существования биогеоценоза [3], необходимо, чтобы эти показатели не выходили за некоторые, определенные для каждого из них и в совокупности, пределы.

Концепция обеспечения экологически безопасности деятельности, т.е. объекта реализации деятельности. Чтобы строительство объекта, реализующего человеческую деятельность, его эксплуатация были экологически безопасны, при проектировании объекта разрабатывается Концепция обеспечения экологической безопасности этого объекта (Концепция ОЭБД), сооружаемого по данному проекту в данном месте [3]. Концепция ОЭБД излагает требования по обеспечению безопасности природных комплексов в регионе будущего объекта, (сохранению его гомеостаза или допущению изменений на уровне исключающем серьезные сукцессии экосистем, т.е. на уровне признаваемом допустимым или приемлемым для выбранной для объекта территории с учетом состояния биогеоценозов и качества условий жизни населения на этой территории), сохранению их народно-хозяйственной, оздоровительной, эстетической и иной ценности, учитывает требования санитарно-гигиенического законодательства. Концепция ОЭБД данного объекта – природоохранительный Закон местного значения, обязательный в регионе данного объекта. (Закон! – значит обязательный для проектирующей и эксплуатирующей организаций, местных органов власти, контролирующих и надзирающих организаций документ). Очевидно, что Концепция ОЭБД (данного объекта реализующего деятельность) учитывает особенности объекта, особенности территории, на которой предполагается объект соорудить и эксплуатировать. (Напомним: это закон местного значения, то есть предназначенный только для этого объекта, только для этой территории; по понятным причинам он не может быть всеобъемлющим, таким, например, как санитарно-гигиенический, действующий на территории всей страны.) Концепция ОЭБД разрабатывается, как отмечено ранее, чтобы обеспечить экологически безопасные строительство и эксплуатацию объекта реализующего деятельность, поэтому исходит из принципа «не измени» [4], а если это не возможно (например, для экосистемы водоема-охладителя в традиционной или атомной энергетике) – из принципа «измени минимально». Очевидно, что Концепция ОЭБД в соответствии с определением понятия экологической безопасности должна содержать ограничения на изменение всех параметров, характеризующих жизнедеятельность биогеоценозов, изменения которых приведут к нарушению гомеостаза биогеоценоза или вызовут недопустимые или неприемлемые для данного региона и для данного объекта изменения жизнедеятельности биогеоценоза или ограничения на изменения интегральных показателей, характеризующих состояние биогеоценоза. Естественно, что Концепция ОЭБД должна содержать требования по ограничению размеров (сил) воздействия на

биогеоценозы, на условия жизни людей со стороны объекта, учитывать при этом возможные воздействия на биогеоценозы региона со стороны других объектов, другой деятельности в регионе. (Эти другие объекты, другая деятельность, естественно, имеют свои Концепции ОЭБД.)

Это значит, что концепция ОЭБД «многомерный» документ, содержащий ограничения на изменения природных параметров и ограничения на размер антропогенных факторов и параметров, вызывающих эти изменения. (К сожалению, сегодняшний уровень наших знаний об откликах биогеоценозов на антропогенные воздействия не всегда позволяет допустимым изменениям состояний биогеоценозов сопоставить допустимую «силу» воздействия.)

Природоохранительная стратегия, согласно которой к практической реализации допускается только экологически безопасная деятельность, в полной мере должна распространяться на такую принципиально опасную для природного окружения и общества деятельность как строительство и эксплуатация атомных электростанций. Потому, согласно [1, 5], в составе ТЭО АЭС должна быть разработана Концепция обеспечения ее (АЭС) экологической безопасности (Концепция ОЭБ АЭС), «привязанная» как и Концепция ОЭБД, к месту размещения АЭС и ее проекту, то есть учитывающая особенности региона будущей АЭС и особенности ее проекта. Принятие Концепции ОЭБ АЭС экологической экспертизой делает ее местным (для региона АЭС) природоохранительным Законом. Законом! – значит обязательной для проектанта, эксплуатирующей организации, контролирующих и наблюдающих органов. Это дает большие преимущества проектанту и эксплуатирующей организации, так как конкретизирует их природоохранную деятельность, упрощает их взаимоотношения с контролирующими организациями и, что особо важно, с общественностью. Не меньшие преимущества имеет и общественность: Концепция ОЭБ АЭС разрабатывается с ее участием, в Концепции учитываются требования общественности, ее мнения об охране тех или иных природных территорий, качества условий жизни людей.

АЭС и окружающая ее природная среда в силу технологических особенностей производства электроэнергии на АЭС (как и на ТЭС) представляют собою единую природно-техногенную систему (ПТС) «АЭС – окружающая среда». Поэтому Концепция ОЭБ АЭС по существу является Концепцией обеспечения экологической безопасности этой ПТС (Концепцией ОЭБ ПТС АЭС – ОС), что и должно учитываться при ее разработке. Выполнение требований и положений Концепции ОЭБ ПТС АЭС – ОС при разработке проекта АЭС и при ее эксплуатации обеспечивает экологическую безопасность этой системы для общества, то есть сохраняет условия жизни людей и состояние природного окружения АЭС в допустимом или признанном обществом приемлемом состоянии.

ПТС «АЭС – окружающая среда» – система сложная, чтобы ее состояние находилось на заданном уровне, на уровне соответствующем ее экологической безопасности, состояние ПТС должно контролироваться и управляться.

Природоохранительный контроль в окружающей среде. Согласно требованиям Закона «Об охране окружающей природной среды» проект любого потенциально опасного для природного окружения, среды обитания человека объекта реализующего нашу (человеческую) деятельность проходит экологическую экспертизу, для чего в составе ТЭО и проекта объекта разрабатываются специальные проектные экологические материалы [6]. Только

положительное решение Государственной экологической экспертизы и положительное заключение Государственного экологического совета Госкомприроды РФ дают «зеленый свет» строительству объекта, делают Концепцию ОЭБ ПТС АС – ОС природоохранительным законом в данной ПТС.

Итак: проект одобрен, объект построен. Как он строился, как эксплуатируется? Соблюдаются ли требования Концепции ОЭБД, т.е. Концепции обеспечения экологической безопасности данного объекта реализующего данный вид деятельности? Для проверки этого упоминавшимся Законом РФ «Об охране окружающей природной среды» в Российской Федерации организуется экологический контроль, задачами которого являются «наблюдение за состоянием окружающей природной среды и ее изменением под влиянием хозяйственной и иной деятельности; проверка... соблюдения требований природоохранительного законодательства и нормативов качества окружающей природной среды». (Если иметь в виду сделанное выше замечание о необходимости местных природоохранительных законов, то задача экологического контроля, в частности, конечно, наблюдение за соблюдением требований Концепции ОЭБД.) Закон устанавливает, что экологический контроль осуществляет система состоящая из Государственной службы экологического контроля, а также других, в том числе, производственных и общественных служб контроля. Если иметь в виду, чтоб объект, о котором говорилось выше, - это АЭС, то на АЭС такой контроль организован. Это действующие службы внешнего радиационного контроля и лаборатории охраны окружающей среды. Службы внешнего радиационного контроля организованные и действующие со времени начала работы первых АЭС имеют огромный опыт работы, получили и накопили огромный фактический материал о радиационной ситуации в окружающей АЭС природной среде, о радиационных воздействиях на население. Эта информация вместе с данными специальных исследований позволила сформулировать экологические концепции ядерной энергетики [7] составившие основу природоохранительной стратегии – обеспечение экологической безопасности АЭС. Лаборатории охраны окружающей среды организованные на АЭС сравнительно недавно не имеют столь четких задач, как службы внешней дозиметрии, а, имея в виду, что в понятиях санитарной гигиены АЭС «безгрешны», информация ими получаемая не имеет конкретного спроса, не имеет она конкретного спроса еще и потому, что случайна, не организована системно.

Контроль, причем, как понятно, любой, предполагает получение информации типа «да» – «нет», соответственно, реакция на такую информацию «можно» – «нельзя» («не опасно» – «опасно»), «допустимо» – «недопустимо». Хорошо, если такой результат получен до того, как, скажем, стало опасно, есть время принять меры. Но не редки системы контроля, которые по объективным причинам результат контроля получают post factum, то есть контроль (системы контроля) регистрируют факт уже имевший место быть. Не редки и такие системы контроля, результаты которого с позиций природоохраны трудно или непонятно как интерпретировать. Есть, конечно, и их большинство, системы контроля, которые, обеспечивая получение информации «да» – «нет», предотвращают серьезное неблагополучие в окружающей среде, предотвращают нарушение нормативных условий санитарно-гигиенического законодательства для человека. Однако контроль в его обычном понимании не может обеспечить получение информации о том экологически безопасно или нет, функционирует в данный объект реализующий деятельность, каковы последствия его эксплуатации в ближайшем будущем – препятствие этому многомерность характеристик

экологической безопасности, возможность неконтролируемых изменений жизнедеятельности биогеоценозов не связанных с функционированием объекта, другими причинами. Главная причина: контроль – это не системная и, часто, не система наблюдений и измерений, контроль не предлагает прогноза, в задачу контроля не входят функции оценки состояния наблюдаемой (контролируемой) системы по совокупности результатов контроля. А именно оценка состояния наблюдаемой системы нужна для принятия своевременных мер по коррекции условий работы объекта (если это необходимо) для сохранения его экологической безопасности. Именно оценка состояния наблюдаемой системы в первую очередь интересует общественность и должна интересовать «органы», ответственные за экологически безопасную эксплуатацию объекта. Поэтому в сложившейся напряженной ситуации в окружающей нас среде для ее оздоровления, поддержания приемлемого для нас качества окружающей среды контроля недостаточно. Контроль не изменит ситуацию, не обеспечит поддержание требуемого качества окружающей среды. Он (контроль) не видит будущего. Это не его функции. Ситуацию в окружающей среде может изменить только принятие концепции экологической безопасности деятельности контролируемой экологическим мониторингом. (Кстати заметим, что «наблюдение за состоянием окружающей природной среды и ее изменением под действием хозяйственной и иной деятельности» – важная, но не природоохранительная задача. Это научное исследование с целью получения зависимостей «доза – эффект».)

Экологический мониторинг [8-12] в общем случае, то есть в регионе любого объекта реализующего любую деятельность – это система системных (рис. 1) систематических наблюдений презентивного и прогнозов ожидаемого состояний экосистем (биогеоценозов) природного окружения объекта реализующего деятельность и презентивного и ожидаемого качества условий жизни населения в регионе объекта, оценки состояний экосистем и качества условий жизни населения во время наблюдений и, в будущем, определения допустимости или приемлемости наблюдаемого и ожидаемого состояний экосистем и качества условий жизни, выработки при необходимости сигнала управления состоянием экосистем, качеством условий жизни, определения последствий исполнения сигнала управления, реализуемая через систему системных систематических наблюдений, измерений и прогнозов параметров, характеризующих состояние экосистем и качество условий жизни людей, сравнений результатов наблюдений, измерений и прогнозов параметров с принятыми допустимыми или приемлемыми Концепцией обеспечения экологической безопасности данного объекта. При этом экологический мониторинг выполняется так, что учитывает факт воздействия на состояние экосистем и условия жизни людей других предприятий, функционирующих в регионе объекта, а сигнал управления вырабатывается им для приложения либо к источнику воздействий на экосистемы и условия жизни людей, либо для принятия прямых мер по защите экосистем. Сигнал управления может вырабатываться либо немедленно – в случае неблагоприятного результата сравнения оценки сегодняшнего состояния экосистем или качества условий жизни с допустимыми или приемлемыми, либо на будущее – в случае неблагоприятного результата сравнения ожидаемого (прогнозируемого) состояния экосистем с допустимым или приемлемым. Центральным моментом экологического мониторинга является то, что он (экологический мониторинг) «работает» путем наблюдения за состоянием природного окружения, за состоянием условий (или качества условий) жизни населения. Состояние экосистем природного окружения он определяет и

оценивает по биологическим параметрам, описывающим жизнедеятельность, структуру, состав экосистем, описывающим способность экосистем к самоподдержанию своих жизненных функций. Тем самым учитывает как комплексность воздействий на экосистемы объекта реализующего деятельность, выражающуюся в частности в суммации, синергизме или протекторизме воздействий, так и комплексность защитных способностей экосистем, то есть комплексность способности экосистем противостоять антропогенным воздействиям. Другим центральным моментом экологического мониторинга является определение им «сил» воздействий объекта на наблюдаемые составляющие окружающей среды – условия жизни людей, природные объекты, что собственно, и позволяет установить причину неблагоприятного отклика экосистем, условий жизни людей, найти способ воздействовать на объект или непосредственно на контролируемую составляющую, исправить положение в ПТС «объект – окружающая среда» и обеспечить тем самым соблюдения требований и положений Концепции ОЭБД, то есть обеспечить экологическую безопасность деятельности для общества. В этом смысл и назначение экологического мониторинга, его сила как системы экологического контроля.

Система экологического мониторинга в регионе объекта в представленном понимании, то есть в структуре, показанной на рис. 1, естественно, при обоснованном (для данного объекта) объеме и периодичности наблюдений (то и другое может меняться в процессе ведения мониторинга), обоснованных методах и способах оценки состояния биогеоценозов в настоящее время (то есть презентивного состояния) и в будущем (то есть ожидаемого состояния) обоснованных и достаточно адекватных реальным физико-химическим (ФХП), биохимическим (БХП) и биологическим процессам (БП) моделях прогноза будущего состояния экосистем, обоснованном выборе наблюдаемых экосистем, обоснованном выборе параметров, подлежащих наблюдению и прогнозу, может и должна обеспечить «взаимовыгодное» (может быть «взаимоустраивающее») сосуществование любого потенциально опасного для природного окружения и условий жизни людей объекта (АЭС в том числе) с природным окружением.

«АЭС (другой энергетический или промышленный объект) – человек – природное окружение» – единая естественно-антропогенная сложная или, даже, суперсложная ПТС с прямыми и обратными связями между ее блоками (даже на столь высоком уровне агрегирования) может поддерживать свое качество, управляясь системой, учитывающей ее особенности и взаимосвязи блоков. Такой системой может быть только экологический мониторинг (в этом его принципиальное отличие от привычной системы контроля) в регионе АЭС (другого объекта или вида человеческой деятельности). Реализация экологического мониторинга (ЭМ) в регионе АЭС (другого объекта) должна обеспечить через достижение экологической безопасности ПТС качественно новое взаимодействие человека с природой, которое акад. В.Н. Вернадский называл ноосферой, то есть обеспечить устойчивое развитие общества (естественно при организации ЭМ для каждой ПТС).

Известно и это показано результатами многочисленных наблюдений (см., например [13, 14]), что сегодня ПТС «АЭС – окружающая природная среда» много ближе к ноосфере, чем подобные системы других энергетических или промышленных объектов, поскольку в режиме нормальной работы АЭС оказывают чрезвычайно низкие, а по отдельным факторам незначимые, воздействия на окружающие природные объекты, качество среды обитания

человека. Известно, что наибольший антропогенный груз на природное окружение АЭС связан со строительством АЭС, он резко сокращается с завершением основных строительных работ. Поэтому, казалось бы, что именно АЭС, их регионы и не нуждаются в экологическом мониторинге: и так все не плохо. Но не стоит успокаиваться на достигнутом (вспомним Чернобыль!) и нельзя забывать, что только отдельные факторы воздействий незначимы [15]. Нельзя также отвергать мнения и требования Общественной и Государственной экологической экспертизы ряда новых проектов АЭС*). Надо полагать, что именно стремление сделать систему «АЭС – окружающая среда» образцом взаимоотношений антропогенного объекта (АЭС) с его природным окружением, стремление сохранить вполне благоприятные (или решать задачу улучшения) условия жизни населения в регионах проектируемых АЭС (предусмотреть улучшение среды обитания населения) заставляют Общественные и Государственные экологические экспертизы проектов АЭС требовать организации и ведения экологического мониторинга в регионах АЭС. С этим нельзя не согласиться. Специалисты и сами знают, что есть еще резервы повышения качества взаимодействий АЭС с окружающей средой, резервы улучшения жизненных характеристик биогеоценозов (особенно водных) и условий жизни населения (оздоровления окружающей среды) в регионах АЭС. (Иногда это требуется не из-за непосредственного воздействия со стороны АЭС.) В некоторых случаях необходимость экологического мониторинга обусловлена определенными недоработками, недополучением исходной информации о состоянии региона АЭС во время начала ее работы (часто из-за того, что в те годы, когда сооружалась, начинала работать АЭС, эта информация не требовалась существовавшими нормами и правилами).

Задачи экологического мониторинга в регионе АЭС

Итак, проект АЭС разработан, в специальных экологических материалах проекта**) разработана Концепция ОЭБ ПТС АЭС-ОС проектируемой АЭС и доказана ее экологическая безопасность. Начато строительство АЭС, предстоит сдача в эксплуатацию и эксплуатация. Необходима система, которая в период строительства и эксплуатации подтвердит, что АЭС строится и эксплуатируется экологически безопасно, то есть нужен экологический мониторинг в регионе АЭС. Собственно задача экологического мониторинга определена: система должна выдавать информацию, подтверждающую, что АЭС строится, а потом эксплуатируется в соответствии с Концепцией ОЭБ АЭС, в регионе которой экологический мониторинг организован и ведется. Никаких сигналов управления о необходимости «сил» воздействий на биогеоценотическое окружение АЭС при этом не вырабатывается. Регистрируется факт благополучного сосуществования АЭС с ее природным окружением. Если экологический мониторинг выдает информацию, которая указывает, что требование Концепции ОЭБ АЭС по каким-то показателям состояния окружающей среды не выполняются, он (ЭМ) должен выработать сигнал управления, назвать какие именно требования Концепции ОЭБ АЭС (КОЭБ ПТС АЭС – ОС) не выполняются и по каким причинам. Блок экологического мониторинга, контролирующий

*) См., например, заключения Общественных и Государственных экспертиз по проектам расширения Калининской, Курской, Балаковской, Н.Воронежской АЭС, по проекту строительства Воронежской АСТ.

**) Имеются в виду «Оценка воздействия... АЭС на окружающую среду» – на стадии ТЭО АС и «Обоснование экологической безопасности... АЭС» – в составе проекта АЭС. Согласно [6] тот и другой материалы разрабатываются для конкретной АЭС.

соответствие среды обитания населения санитарно-гигиеническим нормативам, либо должен подтверждать, что нормативы не нарушаются (если, конечно, они действительно не нарушаются), либо указывать какие из нормативов не соответствуют требованиям санитарно-гигиенического законодательства и почему. Другими словами, задача, а точнее – назначение экологического мониторинга контролировать соблюдение требований и положений Концепции ОЭБ ПТС АЭС – ОС и регулировать состояния составляющих этой системы так, чтобы система в целом была бы экологически безопасна. Адаптированная к ПТС «АЭС – окружающая среда» структурная схема экологического мониторинга показана на рис. 2.

При решении этой задачи, то есть при реализации своего назначения экологический мониторинг в регионе АЭС должен исходить из того, что АЭС является источником загрязнителей*) четырех видов, а именно: радиоактивного, химического, теплового (или тепловлажностного) и связанного (обусловленного) с урбанизацией региона АЭС; должен учитывать, что в регионе АЭС или на смежных с ним территориях могут существовать не связанные с АЭС источники загрязнения объектов окружающей среды (в том числе и случайные), которые могут воздействовать на те же биогеоценозы, что и АЭС, на среду обитания населения региона АЭС. Экологический мониторинг в регионе АЭС должен учитывать, что, хотя все загрязнители биогеоценозов действуют однонаправлено, проявиться воздействия того или иного загрязнителя в большей мере, чем в других, могут в разных биогеоценозах; должен учитывать, что синергизм воздействия загрязнителей исключен [7, 15], но из-за однонаправленности воздействий эффект воздействий может суммироваться, однако взвешивающие множители, позволяющие рассчитать суммарный эффект пока не определены (вернее, определены для очень ограниченного числа загрязнителей [27, 28]). Действительно, если А – эффект радиационных воздействий на биогеоценоз, В – эффект воздействий на этот же биогеоценоз химических загрязнителей, С – то же теплового загрязнителя, Д – то же загрязнителя, обусловленного урбанизацией региона, то суммарный эффект Е можно определить по формуле $E = K_1A + K_2B + K_3C + K_4Д$, где $K_я$ $(я = 1,4)$ – взвешивающие множители, приводящие эффект воздействия любого из загрязнителей в единую меру**). Так как $K_я$ практически неизвестны, экологический мониторинг должен уметь «распознать» каким загрязнителем вызван эффект, обнаруженный им же в той или иной экосистеме (иногда уметь оценить долю участия того или иного загрязнителя в эффекте).

Экосистем в регионе АЭС может быть достаточно много и решение задачи экологического мониторинга так, как она только что сформулирована, превращается в огромную работу. Поэтому целесообразно воспользоваться одной из экологических концепций ядерной энергетики [15], а именно концепцией о существовании в регионе АЭС критических биогеоценозов [16]. По [16] критическим является биогеоценоз, который в силу своих биологических особенностей (структура, вид-эдификатор, видовой состав, видовое разнообразие, тип почвенного покрова и др.), положения в регионе может, больше других биогеоценозов пострадать сам причем ранее других биогеоценозов или более других воздействовать на человека (эффект воздействий проявится ранее и в большей мере, чем в других биогеоценозах). Очевидно, что если от воздействий

*) В некоторых действующих в настоящее время нормативно-технических документах, например в документе, определяющем содержание Отчета по безопасности АЭС, предлагается рассматривать дополнительно такие «загрязнители» как шум, вибрация и др. Опыт исследований в регионах АЭС показывает, что необходимости в этом нет (имеется в виду нормальная работа АЭС).

**) В формуле в предполагается, что $ПДУ_i$ (предельно-допустимый уровень воздействия i-го загрязнителя) измерены в одинаковых единицах для всех рассматриваемых загрязнителей.

АЭС или других предприятий не страдает критический биогеоценоз, то не страдают все другие (не критические) биогеоценозы, если критический биогеоценоз значимо не воздействует на человека, то воздействие других биогеоценозов незначимы. Поэтому для сокращения объема экологического мониторинга в регионе АЭС целесообразно организовать и вести экологический мониторинг в критических биогеоценозах (поскольку загрязнителей несколько, каждый из них может в наибольшей мере проявиться эффектом в «своем» биогеоценозе) критических биогеоценозов в регионе АЭС может быть несколько [17]). Это значит, что критические биогеоценозы в регионе АЭС должны быть выбраны еще при проектировании АЭС и Концепция обеспечения экологической безопасности АЭС должна быть разработана применительно к критическим биогеоценозам. (Как ясно из [6] при разработке «Оценки воздействия проектируемой АЭС на окружающую среду» в составе ТЭО проектируемой АЭС выбираются и обосновываются критические биогеоценозы и Концепция ОЭБ АЭС разрабатывается относительно этих биогеоценозов.) Естественно, что слово «вести» подразумевает, что в критических биогеоценозах ведутся наблюдения, что оценивается текущее состояние критических биогеоценозов, что прогнозируется и оценивается будущее состояние критических биогеоценозов, сигнал управления состоянием системы «АЭС – окружающая среда» вырабатывается на основе информации, полученной для критических биогеоценозов.

В заключение этого раздела отметим, что в регионе любой АЭС могут быть дикие наземные экосистемы (леса, луга, болота), культурные наземные экосистемы – агроландшафты (поля, огороды, искусственные луга), водные экосистемы, среди которых водоем-охладитель АЭС, селитебные территории, в том числе селитебные территории с критическими группами населения. (Напомним, что практически все санитарно-гигиенические нормативы качества условий жизни людей устанавливаются для критических групп населения.) Поэтому критических экосистем в регионе (особенно с учетом ранее сделанного замечания о возможности проявления эффекта того или иного загрязнителя в «своем» биогеоценозе) может оказаться достаточно много и, формулируя конкретные (применительно к данному региону) задачи экологического мониторинга, следует иметь в виду, что сегодня мы еще не располагаем достаточным объемом информации о поведении и реакциях экосистем на разноприродные и одновременно реализуемые воздействия, информации типа «сила воздействия – эффект», и потому в ближайшие годы экологический мониторинг должен позволить пополнить наши знания как о повелении загрязнителей в экосистемах, так и поведении экосистем под тем или иным антропогенным грузом.

И последнее. Основная из экологических концепций ядерной энергетики – концепция о полной радиационной защищенности гласит [15]: при нормальной работе АЭС население региона АЭС, наземные и водные биогеоценозы региона абсолютно защищены от радиационных воздействий. Имея в виду другую экологическую концепцию об отсутствии эффектов синергизма в регионе АЭС, законно поставить вопрос о целесообразности (необходимости) радиационных наблюдений при решении задачи экологического мониторинга в регионе нормально работающей АЭС. Ответ на этот вопрос такой: целесообразно (необходимо), так как пока не все жители территорий, примыкающих к АЭС убеждены в справедливости главной экологической концепции и убедить их можно информацией, полученной «около дома, в котором они живут». Целесообразно еще и потому, что при ведении экологического мониторинга можно получить информацию, полезную для прогнозной части мониторинга, для

решения задач оценки воздействия АЭС на окружающую среду и обоснования ее экологической безопасности.

Структура экологического мониторинга в регионе АЭС определяется целью и задачами мониторинга. Она показана на рис. 3. Это, прежде всего, центральная система наблюдений и измерений в окружающей АЭС среде, состоящая из трех подсистем: подсистема наблюдений и измерений характеристик жизнедеятельности биогеоценозов, подсистема наблюдений за поступлением и миграцией загрязнителей в биогеоценозах и подсистема наблюдений за санитарно-гигиеническими характеристиками окружающей АЭС среды. Система наблюдений и измерений снабжена системой обработки результатов измерений и наблюдений и банком для хранения получаемой информации. Следующая центральная система – это система прогнозов. Она представляет собою пакет математических моделей и соответствующих им вычислительных программ или других методов определения основных параметров состояния биогеоценозов, накопления в них загрязнителей, ожидаемого состояния условий жизни населения в регионе АЭС в будущем. Результаты прогнозов, выполненные этой системой хранятся в приданном ей банке прогнозов. Для своей работы эта система использует информацию 1-ой системы, системы сбора информации о метеоусловиях (результаты, получаемые этой системой хранятся в банке метеоинформации). Третья центральная система – система оценки состояния биогеоценозов. Она представляет собою набор моделей, обеспечивающих анализ и сравнение результатов, полученных двумя первыми центральными системами, оценку допустимости определенных измерениями, наблюдениями и прогнозом характеристик биогеоценозов, уровней накопления в них загрязнителей, концентрации токсикантов в различных средах (воздух, вода и др.) с этими же величинами, вернее их пределами, установленными Концепцией охраны окружающей среды АЭС. Результаты оценок хранятся в банке оценок состояния биогеоценозов и среды обитания населения.

Последняя – четвертая центральная система, имеющая три подсистемы: подсистема анализа биологических характеристик биогеоценозов, подсистема анализа уровней накопления загрязнителей в биогеоценозах и подсистема анализа санитарно-гигиенических характеристик, которые явились причиной отклонения состояния биогеоценозов и состояния качества условий жизни населения от оговоренных в Концепции охраны окружающей среды АЭС. Система в целом анализирует причины и вырабатывает сигнал управления с указанием места его приложения. Система снабжена двумя банками: банком стандартных управляющих решений, разработанных заранее на основе моделирования различных возможных состояний системы «АЭС – окружающая среда», из которых система может выбрать наиболее подходящие для реальной ситуации, выявленной 3-ей центральной системой «управленческие решения».

Кроме 4-х центральных систем в составе экологического мониторинга входят система сбора и хранения характеристик метеоусловий в регионе со своим банком (система специально названа система сбора, а не системой наблюдений и измерений, так как функции наблюдений и измерений могут быть возложены на подходящую метеостанцию, обработанной метеоинформацией которой пользуется экологический мониторинг; в отсутствии подходящей метеостанции система превращается в систему наблюдений, измерений и обработки информации). Далее в составе экологического мониторинга банки данных:

- описание региона АЭС с подбанками: исходное состояние региона, характеристики источников загрязнителей (постоянно корректируемый подбанк), подбанк картографического материала для региона АЭС;

- концепция обеспечения экологической безопасности данной АЭС, содержащая все требования по охране природных комплексов региона, условий жизни населения, пределы изменения величин, характеризующих жизнедеятельность биогеоценозов и среду обитания людей;

- справочный – это вспомогательный банк, содержащий сведения, которые могут оказаться полезными или необходимыми при выполнении функций центральными системами, а также некоторую полезную информацию в регионах АЭС – аналогах.

Таким образом, экологический мониторинг в регионе АЭС достаточно сложная система, однако это совсем не предполагает, что она должна работать автоматически в режиме постоянного слежения и непрерывно выдавать информацию. Во-первых, уровень наших современных знаний о процессах в биогеоценозах при поступлении в них загрязнителей недостаточен для того, чтобы центральные системы экологического мониторинга могли работать в автоматическом режиме, во-вторых, содержание загрязнителей в элементах биогеоценозов, отклик на поступление загрязнителей в большинстве своем не может определяться автоматически, а результаты определения имеют достаточно большую погрешность (объективно это так из-за малости содержания загрязнителей и малости отклика) и, в-третьих, автоматический режим просто не нужен, например, из-за достаточно большой инерционности экосистем. (Конечно, это не исключает, и, даже наоборот, предполагает использование ЭВМ для хранения, обработки информации, выполнения прогнозов, автоматического получения некоторой информации, особенно такой, которая требует принятия срочных управленческих решений. В первую очередь это относится к санитарно-гигиенической информации, резкое изменение которой, в том числе, до недопустимых пределов, возможно за счет выбросов (сбросов) соседних с АЭС предприятий. К санитарно-гигиенической информации относится и информация о радиационной обстановке в регионе АЭС, естественно, определяемой АЭС. Есть или нет необходимость получать эту информацию автоматически следует обсудить специально. (Если иметь в виду 1-ю Экологическую концепцию, то нет – это, в частности, значит, что нет надобности и в АСКРО.)

Состав экологического мониторинга в регионе АЭС организуется так же, как и структура, в соответствии с целью и задачами экологического мониторинга. Он показан на рис. 4. Как видно в составе экологического мониторинга несколько в известной мере самостоятельных подсистем мониторингов, функции которых ясны из их названий. 1-ая, 2-ая и 3-я подсистемы – мониторинги – основные, остальные – обеспечивающие. Основные подсистемы имеют, как минимум, по две составляющих: «биологическую» (наблюдения, измерения, прогнозы биологических характеристик биогеоценозов) и «миграционную» (поступление, миграция, накопление загрязнителей в элементах биогеоценоза). Подсистема – экологический мониторинг водных экосистем (2-ая) дополнена третьей составляющей – наблюдение, измерение концентраций и др. параметров, ответственных за поддержание уровня загрязнения водного объекта химическими веществами допустимыми для водоемов, имеющих рыбохозяйственное значение (составляющая «работает» на водоемах, имеющих рыбохозяйственное значение). Подсистема – экологический мониторинг агроценозов дополнена составляющей, учитывающей распределение продуктов сельскохозяйства, произведенных в регионе АЭС между потребителями (допустимо учитывать долю продуктов, потребляемых на месте, то есть в регионе). Подсистемы 1-ая и 2-ая иногда «работают» вместе (взаимно дополняют

информацией одна другую), когда речь идет, например, о прибрежных биогеоценозах.

Подсистема – мониторинг «АЭС как источник загрязнения окружающей среды» с четырьмя составляющими (по типам загрязнителей). АЭС рассматривается как «черный ящик», поставляющий в окружающую среду измеряемые количества загрязнителей и воспринимающий, когда в этом возникает необходимость, сигнал управления.

Получаемая этой подсистемой качественная и количественная информация о сбросах и выбросах АЭС, о нагрузках на объекты окружающей среды, возникающих в связи с урбанизацией региона (выбросы автотранспорта, выбросы и сбросы учреждений коммунального хозяйства города энергетиков, рекреационные нагрузки на лесные массивы, другие места отдыха жителей региона, уловы любительского рыболовства, сборы ягод, грибов в лесах и др.) используется в 1-ой и 2-ой подсистемах для прогноза состояния экосистем в будущие годы.

Объем наблюдений и измерений подсистемой «Мониторинг метеоусловий в регионе АЭС» зависит от того ведется ли экологический мониторинг в регионе абсолютно или относительно [18].

Методы наблюдений и измерений используемые в экологическом мониторинге организуемом в регионах АЭС всегда будут разнообразны и многообразны, поскольку как характеристики жизнедеятельности экосистем, так и характеристики миграции и накопления загрязнителей в экосистемах требуют для определения разных приемов и устройств. Однако, при выборе методов, включаемых в состав экологического мониторинга, необходимо иметь в виду, что, по возможности, они должны быть просты и не требовать высокой квалификации исполнителей. Это с одной стороны, с другой стороны, методы должны отличаться достаточно высокой точностью измерений и наблюдений, допускающей статистическую обработку результатов и позволяющую выявить малые изменения планируемых для мониторинга как характеристик жизнедеятельности, так и характеристик миграции загрязнителей.

Показатели жизнедеятельности экосистем региона АЭС – центральный вопрос организации и ведения экологического мониторинга в регионах АЭС: какими показателями следует характеризовать жизнедеятельность экосистем в регионе АЭС (или какого-либо объекта). За изменением каких показателей следует вести наблюдения (измерять какие именно показатели) при реализации экологического мониторинга? Жизнедеятельность (состояние) любого биогеоценоза характеризуется многими показателями, причем эти показатели относятся как к абиотической (почва, вода, воздух), так и биотической составляющей – это показатели состояния растительного и животного компонента экосистем. Все они, как отмечалось ранее, образуют многомерное пространство и состояние экосистемы в каждый данный момент времени характеризуется многомерным вектором состояния **C** в этом пространстве. Изменения любого из показателей изменяет вектор **C**, так что вместо **C** имеем $\mathbf{C}_1$, причем $\mathbf{C}_i = \mathbf{C}_1 + ?\mathbf{C}$, где $\mathbf{C}_1$ – изменившийся показатель. Если меняются все показатели или часть их, но так, что в состояние экосистемы мы не обнаруживаем изменений, то это значит, что в рассматриваемом многомерном пространстве существует некая **область** $(\mathbf{C}_1 + ?\,\mathbf{C}_1, \mathbf{C}_2 + ?\,\mathbf{C}_2 ..., \mathbf{C}_n + ?\,\mathbf{C}_n)$ в пределах которой вектор **C** принимает значения, соответствующие состоянию экосистемы признаваемому нормальным (либо это состояние гомеостаза, либо иное, но такое, которое мы считаем нормальным по причине, например, того, что не обнаруживаем изменений в экосистеме или обнаруживаем, но считаем их допустимыми или приемлемыми). Изменение каждого из векторов-показателей $\mathbf{C}_i$ может быть вызвано, например, межгодовыми

колебаниями этого показателя, обуславливаемыми метеоусловиями года. Если изменения каждого из C_i вызвано именно этим и соответствуют метеоусловиям года наблюдения, то упомянутая область в многомерном пространстве C_i или совокупность векторов состояния C_{ij}, оканчивающихся в пределах этой области, характеризуют (соответствуют) гомеостаз экосистемы. И, если мы тем или иным способом ежегодно измеряем C и его значение остается одним из возможных C_i, то это значит, что экосистема не имеет своего состояния, в ней сохраняется состояние гомеостаза.

Согласно понятия экологической безопасности АЭС [2, 3] состояние экосистем региона АЭС может меняться, но не более, чем мы считаем допустимым для данного биогеоценоза в регионе данной АЭС. Это значит, что область допустимых состояний в многомерном пространстве показателей может быть несколько расширена, причем как за счет расширения области изменения каждого из показателей, так и за счет изменения лишь части из них. Теперь показатели допустимого состояния биогеоценоза будет вектор C_k и, убеждаясь, что $C = C_k$, мы можем утверждать, что биогеоценоз прибывает в одном из допустимых для него состояний.

Понятно, что C неизмерим. Измерять, наблюдать надо C_i. Однако C_i как для наземных, так и для водных экосистем действительно много и специалисты пока не пришли к выводы какие из C_i главные, какие второстепенные. (Иногда ответ на этот вопрос можно получить из результатов многомерного анализа [53, 54].) Поэтому сегодня можно только перечислить те из показателей, характеризующих состояние биогеоценоза, которые представляются наиболее информативными и удобными (доступными) для измерений [55, 56]. Такое перечисление приведено ниже. При выборе того или иного показателя для включения его в число наблюдаемых в экологическом мониторинге надо иметь в виду обоснованную возможность назначить допустимую долю, на которую может меняться данный показатель без нарушения жизнедеятельности экосистемы.

Наземные экосистемы*)

1 Прирост биомассы**), то есть количественное увеличение живого вещества какого-либо вида (обычно вида – эдификатора экосистемы или вида о жизнедеятельности которого на критическом экоучастке проявляется особая забота или беспокойство) или гильдии, отнесенное к единице времени (в экологическом мониторинге обычно за один год) и единице поверхности. Удобная для измерения величина обладает достаточно высокой чувствительностью к

*) Рекомендации для наземных экосистем составлены в предположении, что жизнедеятельность наземного биогеоценоза определяет биотоп, т.е. почвенный покров на экоучастке и продуценты экоучастка, предполагается, что нормальное состояние фитоценоза на экоучастке обеспечит нормальное состояние зооценоза. Конечно, при этом исключены из рассмотрения такие представители зооценоза как крупные млекопитающие и некоторые другие (пресмыкающиеся, отдельные представители орнитофауны) поскольку они редко участвуют в жизнедеятельности биогеоценозов, в которых реализуют экологический мониторинг. Такое предположение для регионов АЭС представляется вполне оправданным, т.к. АЭС – это источник малых воздействий на биогеоценозы.

**) Все определения даны по: Реймерс Н.Ф. Природопользование. Справочник. –М.: Мысль, 1990. 2. Дедю И.Н. Экологический энциклопедический словарь. – Кишинев: Гл. ред. Молд. Сов. Энцикл. 1990.

различным загрязнителям. В лесных экосистемах в качестве вида – эдификатора целесообразно использовать хвойные древесные породы, если леса хвойные, другие древесные породы в смешанных или лиственных лесах. Измерять необходимо в одно и то же биологическое время, например после завершения вегетации, но до начала увядания.

2 Продукция биологическая – в экологическом мониторинге практически то же, что и 1, но чаще применительно к луговым, болотным экосистемам. Применительно к сельхозугодьям – урожайность. Продуктивность, урожайность – привычные величины для характеристики состояния фитоценозов, легко сравнимы со значениями этих величин в других ценозах, обычно доступны ретроспективные данные, то есть по всему удобные для экологического мониторинга показатели.

3 Видовое разнообразие*) в различном его отображении, начиная просто со списка видов и количественных характеристик (количество экземпляров на единицу площади, биомасса на единицу площади) и кончая индексами видового разнообразия**), например индексом видового разнообразия Симпсона, видового сходства (когда речь идет о сравнении биогеоценозов) Маунтсена, Константинова и др., Глисона, доминирования (когда при экологическом мониторинге важно отследить, что количество экземпляров какого-либо вида в экосистеме не убывает), а также индексом Фишера – Карбета – Вильямса. Наибольшее распространение для описания видового разнообразия получил индекс Шеннона (особенно для описания видового разнообразия отдельных групп сообщества).

Результаты наблюдения за видовым составом принято представлять также кривыми значимости видов в биогеоценозе, точнее в сообществах однотипной растительности биогеоценоза. Кривая значимости видов – гистограмма (обычно в полуграфическом масштабе), где по оси ординат отложена численность (или биомасса) видов, а по оси абсцисс ранжированный по убыванию численности или биомассы ряд видов. Стабильность кривой значимости видов характеризует стабильность сообщества, изменение вида кривой указывает на нарушение стабильности. Представляется, что кривые значимости видов следует считать удобной характеристикой состояния биогеоценоза в экологическом мониторинге.

4 Для случаев, когда вероятна относительно высокая антропогенная нагрузка, связанная с урбанизацией региона, показателями жизнедеятельности биогеоценозов могут (должны) быть индексы адвентивизации и синантропизации, то есть количество экземпляров (или биомасса) синантропных или адвентивных видов, отнесенное к единице поверхности критического экоучастка и к полному числу экземпляров всех видов (полной биомассе) растительности на единице поверхности. Такие индексы следует определять раздельно для древесных видов растений и травянистых или кустарничковых форм.

В этих же условиях важным показателем надо считать площадь критического экоучастка занятую мхами (по видам), лишайниками и кустарничковыми формами, «эксплуатируемыми» людьми (брусничник,

*) Согласно Ю. Одума экосистема, в которой много видов наиболее устойчива к любым видам воздействий. Этот показатель жизнедеятельности экосистем обязателен и, возможно, должен числиться за № 1.

**) Об индексах, характеризующих видовое разнообразие сообществ, см.: Федоров В.Д. Устойчивость экологических систем и ее измерение. – Изв. АН СССР. Сер. биолог, 1974, № 3. С.402; Федоров В.Д. Откуда берутся индексы разнообразия? / Человек и биосфера. Вып. 4. –М.: Изд-во МГУ, 1980. С.164.

черничник, морошка и др.) или эта же площадь, выраженная в долях (в процентах) от единицы площади.

5 Количество экземпляров древесных пород в подлеске, в подросте в расчете на одно взрослое дерево того же вида. Определяется прежде всего для вида – эдификатора экосистемы. Показатель, который в первую очередь характеризует будущее экосистемы.

6 Для достаточно грубой оценки состояния лесных ценозов можно воспользоваться такими показателями: высота живой кроны, изменение диаметра ствола, бонитет, количество больных и сухостойных деревьев.

7 При обнаружении достаточно серьезных отклонений перечисленных показателей от характерных для состояния гомеостаза или даже признанных допустимыми (приемлемыми) показателями состояния могут быть уровни нарушения структуры и состава финотических сообществ. В [4] состав и структура сообществ считаются главными показателями экологического благополучия или неблагополучия экосистем. В той же [4] автор указывает, что «нет и не может быть объективных критериев, по которым можно было бы отличить «экологически благополучное» состояние экосистемы от «экологически неблагополучного», что последнее надо понимать как то, что «та или иная экосистема становится непригодной для человека». Наверное это так, если все таки не стараться различать антропогенные и естественные сукцессии, и, если не иметь в виду, что человеку совсем не безразлично в каком природном окружении он живет. Поэтому обнаружение в ходе экологического мониторинга все же «экологического неблагополучия» (пусть в нашем, то есть людском, понимании) в той или иной экосистеме и принятие мер к возрасту экосистемы в состояние «экологического благополучия» – задача, решаемая для человека, должна иметь и, как видно из сказанного, имеет «сигнализаторы» (если не объективные показатели) для своего решения.

Естественно, что все упомянутые здесь показатели, характеризующие жизнедеятельность наземной экосистемы, во-первых, могут изменяться вследствие естественных причин – естественных сукцессий старения, во-вторых, в результате изменения метеорологических условий и, в-третьих, вследствие изменений сразу не видных местных условий (подтопление или осушение территорий, расширение селитебных территорий, нарушение нормального функционирования соседних экосистем и др.). Это надо иметь в виду при ведении экологического мониторинга, причем независимо от того ведется он относительно или абсолютно [19]. Естественные сукцессии в экосистемах – это медленные процессы, они захватывают обширные территории и могут быть установлены по эти признакам. Антропогенные сукцессии в регионе конкретного объекта, АЭС, в частности, - это сравнительно быстро развивающийся процесс, захватывающий те территории (в терминах критических экоучастков – прежде всего территорию критического экоучастка), на которых обнаружено наибольшее по «силе» воздействие загрязнителей. Не исключено, что метеоусловия в месте критического экоучастка в отдельные годы или месяцы будут отличаться от метеоусловий на территории «хорошего биогеоценоза», выбранного в качестве экоучастка – а мониторинг критическому экоучастку. Поэтому при анализе результатов наблюдения за тем или иным показателем жизнедеятельности экосистемы это обстоятельство всегда необходимо учитывать. В течение года или нескольких лет стабильно (однонаправленно) могут изменяться местные условия существования критического биогеоценоза сразу не бросающиеся в глаза. Это прежде всего изменения основных характеристик биотопа критического биогеоценоза. Как следствие этого будут меняться характеристики

жизнедеятельности биогеоценоза. Поэтому при ведении экологического мониторинга одновременно с наблюдениями за показателями жизнедеятельности критического экоучастка необходимо определять основные характеристики почвенного покрова экоучастка: почвенную кислотность (pH), емкость катионного обмена, содержание биогенных элементов, макроэлементов, гранулометрический состав, влажностный режим, самоочищающую способность почв.

Для наблюдений за характеристиками биотопа (почвенного покрова) критического экоучастка в ходе экологического мониторинга возможно использование интегрального показателя состояния биотола – состояния почвенной мезофауны. Стабильность характеристик почвенного покрова устанавливают по стабильности видового и численного состава (биомассы) в пределах некоторой территории и заданной глубины почвенного слоя или по распределению этих же величин по глубине почвенного профиля.

Водные экосистемы

Если АЭС работает с водоемом-охладителем, то критический водный экоучасток – это водоем-охладитель или часть его. При организации экологического мониторинга в критической водной экосистеме в таком случае следует помнить и учитывать, что АЭС и водоем-охладитель единая техногенно-природная система с прямыми и обратными связями и существование экосистемы водоема определяется работой АЭС, в первую очередь, сбросом в водоем-охладитель подогретой воды, т.е. тепловым загрязнением водоема [20, 21], это априори предполагает, что экосистема любого водоема при превращении его в водоем-охладитель претерпит изменения. Это значит, что задача экологического мониторинга (применительно к экосистеме водоема) может быть сформулирована более конкретно, чем это сделано ранее, а именно: не допустить переход экосистемы водоема при превращении его в водоем-охладитель через некоторую «границу», установленную как предел изменения состояния экосистемы Концепцией обеспечения экологической безопасности данной АЭС. Естественно, что [38, 41-43] это, как и факт «формирования» экосистемы водоема-охладителя работой АЭС, необходимо учитывать при назначении показателей жизнедеятельности экосистемы водоема-охладителя, наблюдаемых в ходе экологического мониторинга. Естественно, необходимо учитывать и другие причины изменения экосистемы водоема, как-то изменение морфометрии и батиметрии при поднятии уровня водоема до НПУ, организация течений или изменение других гидрологических характеристик водоема и др. Надо учитывать, что водоем-охладитель часто используется как приемник очищенных сточных вод АЭС и жилпоселка, вод промышленно-ливневой канализаций других стоков.

1 Поскольку жизнь экосистемы водоема-охладителя зависит от того как на нее воздействует АЭС и биологические характеристики определяются состоянием (характеристиками) среды обитания гидробионтов, то первый наблюдаемый показатель – гидрохимический режим – набор данных о содержании (концентрации тех или иных веществ (ионов) в воде [22]. Поскольку, как неоднократно отмечалось, у специалистов нет единого мнения о том, информация о концентрации каких веществ является главной, в первый (начальный) период экологического мониторинга, по-видимому, необходимо определить все возможные вещества в воде и др. гидрохимические характеристики, по крайней мере, рекомендованные в многочисленных предложениях классификации качества вод [22, 23] – это (20-30) показателей и остановиться на части их

принятой, например, в [24] и рекомендованной в [22]. Еще более правильнее, остановиться на тех из них, которые по анализу уже полученных данных окажутся наиболее чувствительными к воздействиям и информативными. Это, конечно, не что-то неожиданное, а показатели обычно определяемые при исследовании экосистем водоемов.

2 Наблюдения за степенью равновесия процессов продукции и деструкции органического вещества в экосистеме водоема. Обычно определяют отношение скоростей этих биологических процессов (БП), отношение близкое или равное 1 говорит о равновесном состоянии экосистемы водоема.

3 Наблюдение за уровнями сапробности, трофности, кормности – обобщенные показатели – результаты обработки данных гидрохимических и гидробиологических наблюдений.

4 Гидробиологические наблюдения, следствием которых является информация о видовом составе (численности, биомассе) экологических групп гидробионтов. Эта информация обрабатывается и представляется так же, как и для наземных экосистем, результаты обработки позволяют делать те же выводы, а иногда и более глубокие, когда происходит смена доминантов или развитие ранее не характерных для водоема видов, например, сине-зеленых водорослей. Особый вопрос – наблюдение за ихтиофауной водоема: ее состав (видовой, половозрастной), численность, размерные характеристики, др. характеристики наверняка ограничиваются в своем изменении в обеспечения экологической безопасности данной АЭС.

5 Наблюдения за развитием и распространением по акватории водоема-охладителя высшей водной растительности, картирование результатов наблюдений, сопоставление годовых карт (используются известные и хорошо отработанные методики [56]). Зарастание водоема-охладителя макрофитами, вообще говоря, сигнал экологического неблагополучия в экосистеме (критическом экоучастке) водоема-охладителя.

6 Один из важных и чувствительных показателей, особенно «подогреваемой экосистемы», какой является экосистема водоема-охладителя, служит показатель стабильности сезонной сукцесии в экосистеме водоема, то есть стабильность последовательной сезонной смены видов, главным образом, микроорганизмов. Со времени превращения водоема в водоем-охладитель в нем меняется не только видовой состав гидробионотов, но и время начала, максимального расцвета и увядания видов. Стабильность этого процесса – характеристика стабильности экосистемы, отклонение временных распределений этого БП для тех или иных видов – сигнал экологического неблагополучия в экосистеме. Это достаточный, а главное, чувствительный показатель жизнедеятельности экосистемы, но требующий систематических наблюдений.

Как для наземных, так и для водных экосистем можно назвать еще ряд показателей, характеризующих их жизнедеятельность, устойчивость к антропогенным нагрузкам, которые можно было бы использовать в экологическом мониторинге, организуемом в регионах АЭС. Это показатели, связанные с жизнью фауны на критическом экоучастке, описывающие взаимодействия консументов с автотрофами, характеризующие развитие органов воспроизводства у некоторых растений и др. вплоть до показателей генетической изменчивости. Однако часть из них менее чувствительны, чем названные, другие не очень удобны в работе. Поэтому названные показатели представляются нам вполне подходящими для экологического мониторинга как по чувствительности, так и по возможности организовать их измерения. Перечислено достаточно много показателей (параметров), характеризующих состояние экосистем, какие из них выбрать для определения в ходе экологического мониторинга в той или иной экосистеме

следует исходить из концептуальных моделей ФХП, БХП и БП, ожидаемых на критическом экоучастке при работе АЭС.

Периодичность наблюдений и измерений в ходе экологического мониторинга в большинстве случаев не должна быть большой. Она также зависит от того, какие концептуальные модели ФХП, БХП и БП в экосистемах приняты при реализации экологического мониторинга и какие показатели, характеризующие жизнедеятельность критических экосистем выбраны для наблюдений и измерений. Для большинства конкретных регионов действующих и проектируемых АЭС, то есть на территориях, где сезоны года выражены достаточно четко, для случая, когда используются названные показатели жизнедеятельности, наблюдения достаточно, по-видимому, проводить дважды в год: до начала (в самом начале) вегетационного периода и по завершении его, но до начала увядания. Периодичность не следует связывать с календарным временем, но обязательно – с биологическим. Поэтому в том случае, когда в ходе экологического мониторинга наблюдаются характеристики видов со сдвинутым относительно других временем развития, его необходимо учитывать при определении наблюдений и измерений. Однако, есть характеристики жизнедеятельности экосистем, для определения которых необходимы частые наблюдения и измерения, например упоминавшаяся стабильность сезонной сукцессии экосистемы. Чтобы экологический мониторинг не стал «сплошным измерением», такие характеристики жизнедеятельности целесообразно определять один раз в несколько лет. Это вполне допустимо, если иметь в виду инерционность экосистемы, инерционность жизненных процессов в ней.

Замечание о необходимости блюсти биологическое время относится и ко времени отбора проб для определения концентрации загрязнителей в биообъектах экосистем: всегда следует знать, какой листовой поверхностью «улавливался» загрязнитель, каким было его биологическое разбавление и другие характеристики и условия поступления загрязнителей в экосистемы. Полезно при этом учитывать результат, полученный в [25].

Санитарно-гигиенические наблюдения и измерения в составе экологического мониторинга едва ли следует вести по регламентам, отличным от регламентов служб санитарно-эпидемиологического надзора в регионах АЭС. Наверное эти наблюдения и измерения следует делать совместно службами СЭС и службами экологического мониторинга, дополнив при необходимости существующие регламенты наблюдений получением недостающей для экологического мониторинга информации.

Заключение

Предлагается (в развитие ранее высказанных положений) следующая концепция экологического мониторинга в регионе АЭС: экологический мониторинг – это система системных систематических наблюдений за состоянием биогеоценозов и качеством условий жизни населения в регионе АЭС, оценки презентивного состояния биогеоценозов и качества условий жизни населения, прогнозирования по результатам наблюдений и оценки будущего (ожидаемого) состояния биогеоценозов и качества условий жизни населения, сравнения результатов оценок с допустимым или приемлемым, определенными Концепцией ОЭБ данной АЭС и выработки сигнала управления состоянием системы «АЭС – окружающая среда», если необходимость этого диктуется результатами сравнения, определения последствий приложения сигнала управления к названной

системе. Такая система наблюдений и оценок результатов наблюдений дополняется системами идентификации и измерения «сил» антропогенных воздействий на биогеоценозы и условия жизни населения в регионе АЭС. Назначение экологического мониторинга – контроль и управление экологическим состоянием ПТС «АЭС – окружающая среда» с целью поддержания состояния ПТС на экологически безопасном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Егоров Ю.А. О понятии «экологическая безопасность атомных станций». / Экология регионов атомных станций. Вып.1. – М.: ЯО, 1994, С.44.

2 Ильин Л.А., Глебова Л.Ф., Алексахин Р.М. и др. Обоснование концепции экологической безопасности АС и других предприятий ядерного топливного цикла. – Атомная энергия, 1993, т.74, вып.4, С.316.

3 Егоров Ю.А., Тихомиров Ф.А. Еще раз об экологической безопасности атомных станций и экологическом мониторинге в их регионах. / Экология регионов атомных станций. Вып.5. – М.: АЭП, 1996, С.321.

4 Максимов В.Н. Проблемы комплексной оценки качества природных вод (экологические аспекты). – Гидробиологический журнал, 1991, т.27, № 3, С.8.

5 Егоров Ю.А. О задачах экологической экспертизы намечаемой хозяйственной деятельности (на примере атомных станций). / Экология регионов атомных станций. Вып. 3 – М.: АЭП, 1995. С.147.

6 Егоров Ю.А., Курочкин В.И. Концепция оценки воздействия АС на окружающую среду и обоснования экологической безопасности АС. / Экология регионов атомных станций. Вып.2. – М.: АЭП, 1994, С.160.

7 Егоров Ю.А., Тихомиров Ф.А. Современные представления экологии ядерной энергетики. / Экология АС. – М.: ЯО, 1992, С.58.

8 Израэль Ю.А. Философия мониторинга. – Метеорология и гидрология, 1990, № 6, С.5.

9 Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей природной среды. – М.: Гидрометеоиздат, 1980.

10 Егоров Ю.А., Казаков С.В. Радиационный экологический мониторинг в регионе АЭС. / Радиационная безопасность и защита АЭС. Вып.9. – М.: Энергоатомиздат, 1985, С.59.

11Егоров Ю.А. Радиационный экологический мониторинг в регионе АЭС. / Методы биоиндикации окружающей среды в районах АЭС. – М.: Наука, 1988, С.16.

12 Егоров Ю.А. Основные итоги и развитие концепции экологического мониторинга в регионах атомных станций. / Экология регионов атомных станций. Вып.2. – М.: АЭП, 1994, С.200.

13 Бабаев Н.С., Демин В.Ф., Ильин Л.А. и др. Ядерная энергия, человек и окружающая среда. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

14 Бадяев В.В., Егоров Ю.А., Казаков С.В. Охрана окружающей среды при эксплуатации АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

15 Егоров Ю.А., Тихомиров Ф.А. Современные экологические концепции ядерной энергетики. / Экология регионов атомных станций. Вып. 1. – М.: ЯО СССР, 1994, С.5.

16 Егоров Ю.А., Тихомиров Ф.А. Критические биогеоценозы в регионах атомных станций. / Экология регионов атомных станций. Вып.2. – М.: АЭП, 1994, С. 189.

17 Егоров Ю.А., Кочерьян В.М., Лурье Д.И. и др. Критические экосистемы региона Курской АЭС. / Экология регионов атомных станций. Вып.4. – М.: АЭП, 1996. С.55.

18 Егоров Ю.А. Экология регионов атомных станций – новое научное направление экологии. / Экология регионов атомных станций. Вып.2. – М.: АЭП, 1994. С.5.

19 Егоров Ю.А. Контроль радиационной обстановки в окружающей АЭС среде, управление радиационным состоянием системы «АЭС – окружающая среда». / Радиационная безопасность и защита АЭС. Вып.12. – М.: Энергоатомиздат, 1987, С.76.

20 Протасов А.А., Сергеева О.А., Кошелева С.И. и др. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины. – Киев: Наукова думка, 1991.

21 Вирбицкас Ю.Б., Егоров Ю.А. Состояние экосистемы оз. Друкшяй после нескольких лет работы Игналинской АЭС. / Экология регионов атомных станций. Вып.1. – М.: ЯО СССР, 1994, С.238.

22 Методы биоиндикации и биотестирования природных вод. Вып.2. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989.

23 Жукинский В.Н., Оксиюк О.П., Олейник Г.Н., Кошелева Г.И. Принципы и опыт построения экологической классификации качества поверхностных вод суши. – Гидробиолог. Журн., 1981, 17, № 2, С.38.

24 Романенко В.Д., Оксиюк О.П., Жукинский В.Н. и др. Экологическая оценка воздействий гидротехнического строительства на водные объекты. – Киев: Наукова думка, 1990.

25 Пономарев А.В. Тонкая структура динамики ^{137}Cs и ^{40}K в растениях. /Радиологические, медицинские и социально-экономические последствии аварии на Чернобыльской АЭС. Реабилитация территорий и населения. Тезисы докл. – М.: 1995.

Приложение 3

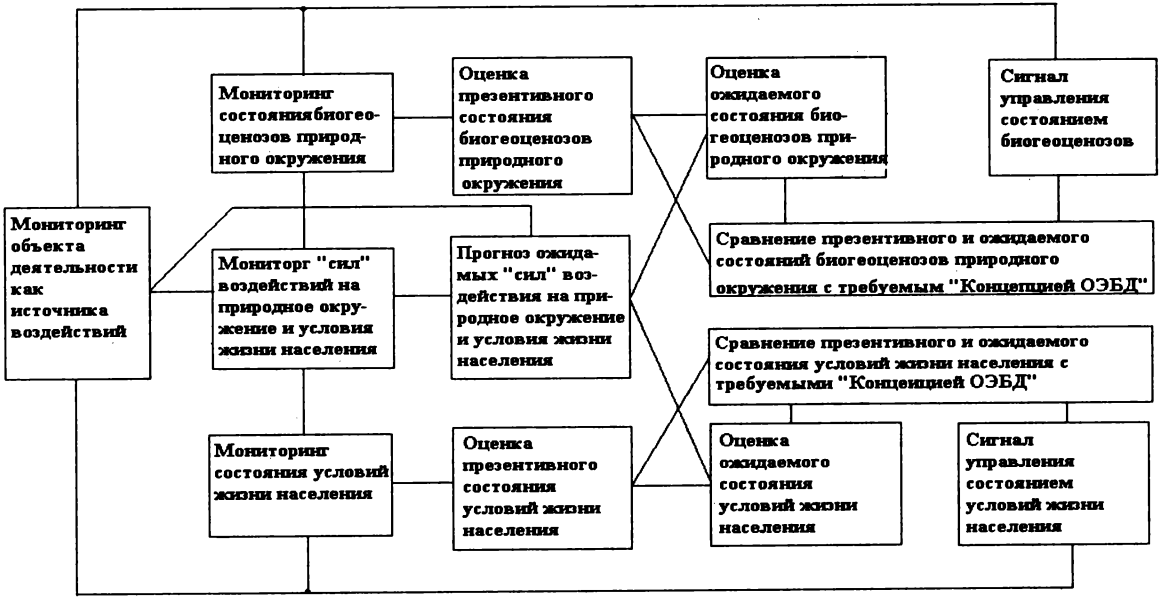


Рис.1 Структура экологического мониторинга

Приложение 1

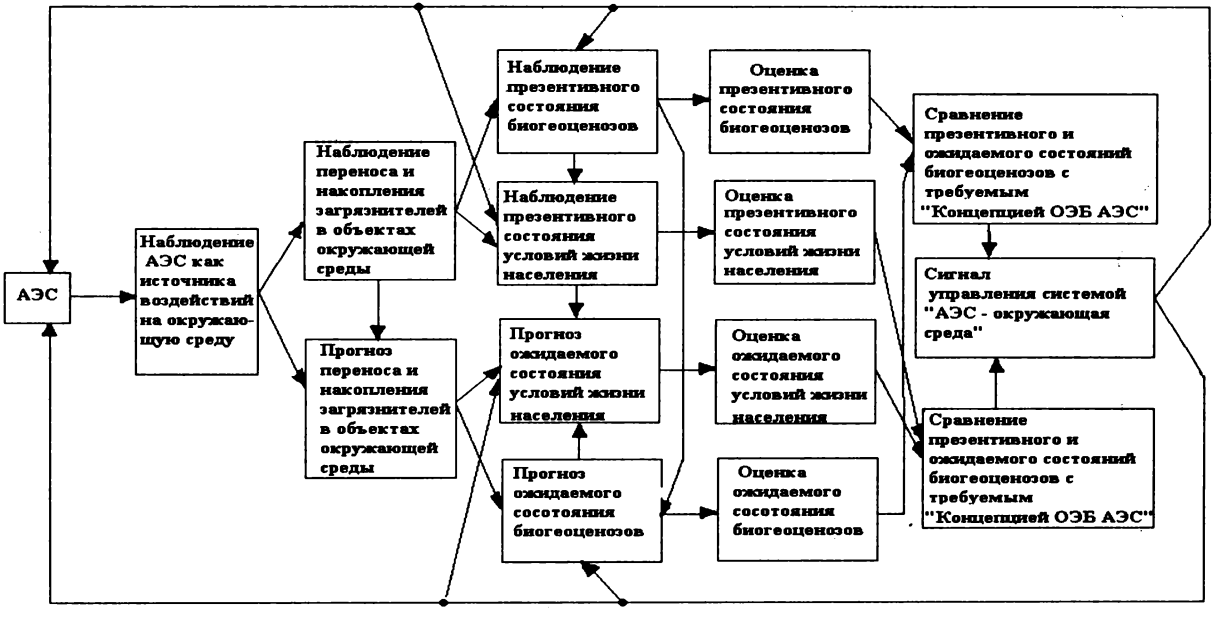


Рис. 2 Структурная схема экологического мониторинга

Приложение 2

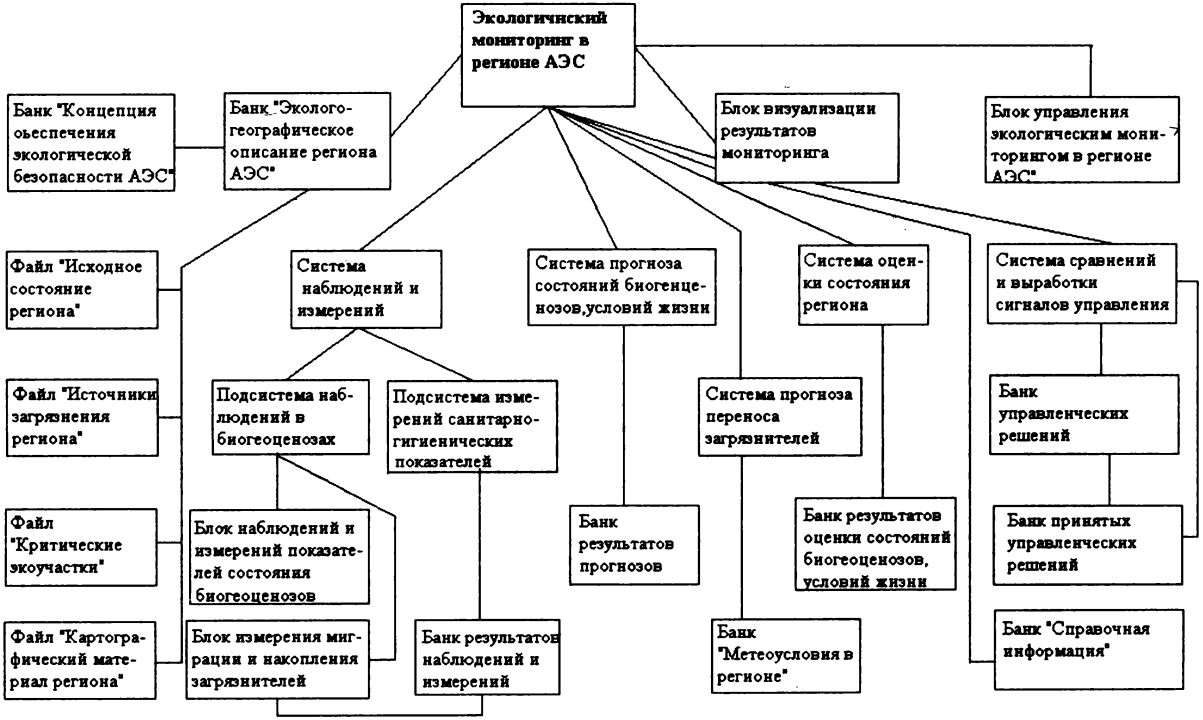


Рис. 3 Структура экологического мониторинга в регионе АЭС

Рис.4 Состав экологического мониторинга в регионе АЭС

КРАТКАЯ ИНФОРМАЦИЯ ОБ ИСТОРИИ УРАНОВОЙ ГЕОЛОГИИ РОССИИ ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЙ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ ЯДЕРНОГО СЫРЬЯ

М.А. Изюмов , к.г.-м.н
Государственное унитарное предприятие -
Свердловский специализированный комбинат "Радон"

г. Екатеринбург

13 октября 1945г. СНК СССР принял постановление № 2628-713 "О концентрации и специализации поисково-разведочных работ на радиоактивное сырье", и в составе Госкомитета по геологии создается Первое Главное геологоразведочное управление, призванное решить проблему обеспечения сырьем зарождающейся атомной промышленности страны (1).

Ситуация того времени требовала неординарных мер. Взрывы американских атомных бомб над Японией продемонстрировали всему миру, что ядерное оружие стало реальностью, и имелись достаточные основания полагать, что соблазн продолжить его применение со стороны монопольного владельца может возобладать над здравым смыслом.

Работы по атомной проблеме в СССР уже были начаты, но одним из нерешенных оставался вопрос обеспечения страны ураном. Е.П.Славский, являвшийся наряду с И.В.Курчатовым одним из главных руководителей советского атомного проекта, впоследствии вспоминал, что в первый реактор пришлось загрузить практически весь имевшийся в стране уран. Больше урана не было, а реактор требовал догрузки топливом.

Еще в начале столетия по инициативе В.И.Вернадского в России были организованы поиски радиоактивных руд. Благодаря этим работам к началу 40 - х годов в Фергане было найдено несколько месторождений (Тюя-Муюн, Табошар, Майлису и др.). Часть из них отрабатывалась в довоенные годы с целью извлечения радия. Однако все месторождения имели весьма небольшие запасы и не могли составить основу сырьевой базы ядерной промышленности. Для развертывания геологоразведочных работ на уран не было ни специальной аппаратуры, ни методик, ни кадров. Геологов, своими глазами видевших урановые минералы, насчитывалось в стране буквально единицы, а основным прибором измерения радиоактивности был примитивный электроскоп.

"Важнейшей частью урановой проблемы, - писал впоследствии А.П.Александров, - был ясный, но невероятно трудный план: начать усиленные поиски месторождений урана и организовать его добычу".

Упомянутым выше постановлением СНК определялись исключительные темпы развития геологоразведочных работ. Уже к апрелю 1946г. предполагалось организовать 270 специализированных полевых геологических партий, охватив поисковыми и ревизионными работами практически всю территорию страны. С 1947 года ряд таких полевых партий был передан в непосредственное подчинение Первого Главного геолого-разведочного управления с созданием в его составе территориальных специализированных экспедиций: Кольцовской (Ессентуки), Октябрьской (Ленинград), Волковской (Алма-Ата), Березовской (Новосибирск), Сосновской (Иркутск), Шабровской (Свердловск) и другие.

Стратегия "массированного удара", являвшаяся тогда, по-видимому,

единственно возможной, дала определенные результаты. Уже в 1946 - 1947 гг. удалось выявить несколько новых районов с урановыми месторождениями:

- на Украине при ревизии железных рудников Кривого Рога были открыты Первомайское и Желтоводское месторождения урана - первые относительно крупные по запасам объекты совершенно нового типа, не имеющие зарубежных аналогов;

- на Северном Кавказе - Бештаугорское месторождение урана;

- в Средней Азии - месторождения Каттасай и Алатаньга в Чаткальских горах;

- в Южном Казахстане - месторождение ураноносных бурых углей в Приссыккулье (Туракавакское);

- в Сибири - Усть-Ангарское месторождение урана в Енисейском кряже;

- в Колымско-Чукотском районе - Северное и Бутугычагское месторождения урана.

Эти открытия свидетельствовали о том, что урановая минерализация широко проявлена на территории страны и есть все основания ожидать, что задача создания собственной минерально-сырьевой базы будет успешно решена. Однако большинство находок представляли собой мелкие объекты с невысоким качеством руд, часто располагавшиеся в районах, затрудняющих их освоение. Плановое задание по приросту запасов 1946-1947гг. оказалось выполненным лишь на 60%.

Следует отметить специфику работ того времени. Стремление как можно быстрее получить конечный результат - добытую урановую руду, зачастую обусловливало проведение работ с отклонением от принятой стадийности и с другими методическими нарушениями. Нередко капитальные горные выработки закладывались под едва наметившиеся рудопроявления и произведенные затраты в результате оказывались бросовыми. С другой стороны, районы месторождений, форсированно передававшиеся промышленности, часто оставались недоизученными и недоопоискованными. Некоторые из таких районов (Северо-Восток России) недоизучены на уран и поныне.

Работы на уран выполнялись в обстановке глубокой засекреченности. В те годы само слово "уран" даже в закрытых документах употреблять запрещалось. Его заменяли терминами типа "альбит", "теллур", "корунд" и т.п. Обмен геологической информацией и опытом поисков и разведки в такой обстановке был очень затруднен, что снижало эффективность работ. Несомненно мешала и общая обстановка взаимной подозрительности и шпиономании, активно культивировавшаяся курировавшим работы по урану ведомством Л.П.Берия.

К 50-м годам с развитием науки и промышленности в области приборостроения был обеспечен революционный сдвиг в технологии поисков и разведки урана: в достаточном количестве на вооружении геологов появились первые отечественные радиометры, в том числе приборы для аэро -гамма -съемок. Массовое применение последних вскоре привело к целому ряду открытий:

- в Северном Кавказе - месторождения Маныбай, Ишим, Балкашино, Заозерное, которые определили новую крупную урановорудную провинцию;

- в Южном Казахстане - месторождения Бота-Бурум и Курдай, последнее из которых разведуется и вводится в эксплуатацию в рекордно короткий срок (20 месяцев);в проведении этих работ раскрылся организаторский талант Н.Ф.Карпова, позднее пришедшего к руководству Первым Главком и проработавшим на этом посту более 25 лет;

- в Кызылкумах - открыто первое действительно крупное месторождение Учкудук, положившее начало крупнейшей в мире Притяньшаньской

урановорудной провинции месторождений инфильтрационного типа;

- на Мангышлаке - обнаружено крупное месторождение Меловое, а вслед за ним еще ряд однотипных месторождений.

Предприятия по освоению этих объектов дали начало новым прекрасным городам, выросшим в степи и пустыне – Учкудуку, Степногорску, Шевченко.

Среди первооткрывателей этих месторождений были В. С. Казаков. Н.И.Королев, Н.М.Салов, А.Е.Сегеев, Е.П.Сонюшкин (месторождения Северного Казахстана); М.Я.Дара, Н.Ф.Карпов, А.Л.Лапин, Л.В.Хохлов, А.Н.Юдаков (месторождения Южного Казахстана); Ф.Н.Абакумов, Б.М.Мазин, А.И.Пак, А.А.Петренко, М.Э.Пояркова (месторождение Учкудук); Л.Н.Скосырев, Н.Ф.Шармин, Ю.Н.Терехов (месторождение Меловое) и др.

К 1957 г. задача создания минерально-сырьевой базы урана, способной обеспечить развитие атомной промышленности и необходимого оборонного потенциала страны, была в основном решена.

Одновременно с разворотом геологоразведочных работ по урану в нашей стране значительное число советских специалистов было привлечено к изучению района Рудных гор в Европе. Вклад наших специалистов в создание уранодобывающей промышленности бывших ГДР и Чехословакии, а также Румынии, Болгарии, Венгрии можно назвать решающим. С их участием были открыты крупнейшие жильные месторождения Шлема-Абельрода и Пшибрам, а позднее Роннебургское рудное поле и месторождения Стражского блока, эксплуатация которых продолжалась вплоть до 90-х. В 50-е годы российские специалисты приняли также активное участие в создании сырьевой базы урана в Китае, а в 70-х ими были открыты крупные месторождения урана в Монголии.

Однако к концу 50-х годов волна открытий, обусловленная широким внедрением радиометрических методов поисков, начала спадать. Если в 1952-1957 гг. было открыто более 15 промышленных месторождений урана, то в 1958-1960 гг. их оказалось только 2. Вместе с тем на повестку дня ставится вопрос о широком мирном использовании атома - развитии атомной энергетики. Количество урана, требовавшееся для этой цели, многократно превышало возможные потребности оборонных отраслей. Таким образом, курс на развитие атомной энергетики, принятый еще в те далекие годы, едва ли можно объективно считать ошибочным, хотя определенные стратегические просчеты в технологиях, обусловленные известным нашим недостатком - стремлением сделать все побыстрее и подешевле, несомненно, имели место.

В 60-х годах дефицит урана в стране был преодолен, однако значительную часть сырьевой продукции составлял импорт из ГДР, Чехословакии и других стран. Развитие атомной энергетики, несомненно, требовало независимой от импорта собственной сырьевой базы. Открытые к тому времени месторождения ее не обеспечивали. Вызывал определенную тревогу и наметившийся спад в темпах развития сырьевой базы и эффективности геологоразведочных работ при продолжающемся росте темпов добычи. Достаточно остро вставала проблема экономии источников уранового сырья. Стало очевидным, что успешное решение задач по дальнейшему развитию минерально-сырьевой базы урана требует разработки иных, более прогрессивных методов поисков и технических средств, эффективных для выявления объектов, не выходящих на дневную поверхность. Разработка таких методов и средств требовала усиления научно - исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИКОР).Определились два главных направления исследований: создание основ геологического прогноза новых перспективных территорий и развитие методик и технологий

глубинных поисков. Много удалось сделать в области методики поисков. Специалистами ВИМСа и ВИРГа были разработаны основы ландшафтного районирования территории по применимости различных методов поисков. Во ВСЕГЕИ, ВИМСе, ИГЕМ РАН и других институтах были усовершенствованы методы локального прогноза, позволившие более уверенно выделять конкретные площади под глубинное изучение. В ВИРГе был разработан ряд новых поисковых методов и аппаратуры, в том числе первые сцинтилляционные радиометры, усовершенствованные аэроспектрометрические станции, каротажные приборы и др. На создание технических средств для глубинных поисков были мобилизованы опытно-конструкторские разработки. Одной из удачных конструкций оказалась в те годы установка СУГП-10, представлявшая собой самоходный агрегат для проходки мелких поисковых скважин способом задавливания.

60-е годы были годами открытий принципиально новых крупных месторождений урана различных генетических типов во многих регионах, в частности:

- в Центрально - Алданском районе Якутии выявлен уникальный по масштабам урановорудный объект (первооткрыватели: Н.В.Кожевников, В.А.Евстрахин, Я.Д. Гетман и др.);

- в Забайкалье - Стрельцовское рудное поле (Л.П.Ищукова, В.П.Зенченко, В.М.Журавлев, Ю.Г.Рогов, К.А.Метцгер, В.А.Солодовников и др.). К концу 60-х годов в Забайкальской степи уже стояли первые дома нового города - Краснокаменска и начал работать крупнейший в стране Приаргунский горнохимический комбинат (ПГХК).

Третьим важным открытием 60-х годов явилось Мичуринское месторождение на Украине (Ю.А.Басе, И.Ф.Злобенко и др.). Дальнейшими исследованиями, оперативно организованными с опорой на поисковое бурение, была выявлена Кировоградская группа месторождений: Ватутинское, Северинское, Центральное и др. (Н.В.Смолин, О.Ф.Макивчук, М.В.Репринцев, В.А.Сливинский Ф.Д.Галкин и др.).

В Казахстане в те годы было обнаружено Грачевское месторождение (Н.С.Зыкова, Г.С.Куценко, В.Н.Шляпников и др.), что ознаменовало выявление нового района, где позднее был найден еще ряд объектов, в том числе крупнейшее в Северном Казахстане - месторождение Косачиное (Н.С.Зыкова, Г.С.Куценко, В.К.Белов, С.С.Наумов и др.).

В начале 70 - х годов минерально - сырьевую базу урана в стране можно было считать в целом вполне соответствующей возможным программам развития ядерной энергетики в количественном отношении. Однако в качественном отношении полного решения добиться не удалось: месторождений богатых руд, за исключением Стрельцовского района, выявлено не было. В начале 80-х годов выявленные ресурсы урана в недрах страны стали сопоставимы с суммарными ресурсами этого энергоносителя в ведущих странах - продуцентах. Минерально-сырьевая база для развития атомно-энергетических программ в самых широких вариантах была создана. Развитие геологоразведочных работ на уран оказало очень большое влияние на прогресс советской геологической науки в целом. Геологами - уранщиками на материалах изучения прежде всего урановых месторождений были сформулированы и развиваются ряд важных новых положений рудной геологии, в том числе теория эволюции рудообразующих процессов в геологической истории (Н.П.Лаверов, А.И.Тугаринов, В.И.Казанский и др.), теория инфильтрационного рудообразования (Е.М.Шмариович, А.И.Перельман, А.К.Лисицин, Е.А.Головин, Г.В. Грушевой,

М.Ф.Максимов, В.Н.Щеточкин и др.), систематика и физико-химия процессов околорудного метасоматоза (Б.И.Омельяненко) и многие другие. В процессе поисковых работ на уран геологами-уранщиками были открыты крупные месторождения других полезных ископаемых, в том числе Удоканское медное, Белозиминское редкометальное, Бортовое флюоритовое, Нойонтологейское полиметаллическое, Сарымбетское оловянное, Падминское ванадиевое, месторождение нового поделочного камня - чароита и сам этот минерал.

К концу 80-х становится очевидным, что урановая промышленность Союза заинтересована в выходе на мировой рынок. Постепенно снимаются существовавшие режимные ограничения. В 1991 году в материалах МАГАТЭ впервые публикуется доклад, характеризующий сырьевую базу урана СССР. Устанавливаются и развиваются контакты с МАГАТЭ, Евроатом и частными зарубежными горнопромышленными компаниями, занимающимися ураном. Научный и профессиональный уровень урановой геологии нашей страны был очень высоко оценен за рубежом.

С распадом СССР распалась и единая геологоразведочная организация, созданная в 1945г. как первое Главное геологоразведочное управление. Сохранившиеся в России территориальные подразделения были реорганизованы в государственные геологические предприятия. В 1988г. руководителем Объединения становится А.Л. Лапин, а в 1992 году его сменяет С.С.Наумов. Обстановка в урановой геологии, как и во всей геологической отрасли, крайне осложняется. Бюджетное финансирование сокращается, а горная промышленность не располагает достаточными средствами для развития геологоразведочных работ на перспективу. Неблагоприятная экономическая обстановка усугубляется распадом Союза. В России оказываются сосредоточенными около 70% мощностей АЭС бывшего СССР, но большая часть сырьевых источников и уранодобывающих предприятий остается на территориях Казахстана, Узбекистана и Украине. Добыча урана на единственном в России предприятии (ПГХК) не покрывает потребности действующих АЭС, однако весь добываемый уран экспортируется. Такое положение определяется значительными запасами готового урана на складах. Однако складские запасы могут быть исчерпаны к 2005-2010 гг. В дальнейшем атомная энергетика России, развитие которой в условиях обостряющегося дефицита органических энергоносителей представляется неизбежным, может оказаться не обеспеченной собственными ресурсами урана. Поэтому проблема сырьевой базы урана в России не может на сегодня считаться несуществующей. Одной из первоочередных задач в настоящее время представляется поиск новых месторождений урана для наиболее экономичной и экологически безопасной прогрессивной технологии добычи - подземного выщелачивания через скважины. Подобные объекты даже при ограниченных запасах могут быстро вовлекаться в освоение при малых капитальных затратах и создать резерв, способный покрыть возможный дефицит урана при сокращении складских запасов.

Другой важной задачей представляется поиск месторождений богатых руд в докембрийских комплексах, составляющих сейчас основу сырьевой базы таких стран, как Канада и Австралия, но пока неизвестных в России.

Эти задачи предстоит решать в условиях весьма ограниченного финансирования. При этом необходимо мобилизовать огромный опыт, накопленный геологами, найти практические способы эффективного использования научного потенциала и теоретических разработок в области геологии урана, усовершенствовать на этой основе методы и методики геологоразведочных работ. Положение России как одного из ведущих

экспортеров урана и одновременно страны с развитой атомной энергетикой требует разработки долгосрочной программы, определяющей государственную стратегию как в области управления складскими ресурсами и экспортом, так и в области дальнейшего развития ресурсной базы в недрах.

Автор статьи после окончания в 1958 году Свердловского горного института им. В.В.Вахрушева и получения профессии "горный инженер-геофизик" в течении 30 лет работал в геологических организациях Мингео СССР , на горнодобывающих предприятиях и научно-исследовательских институтах Минсредмаш СССР, специализировавшихся на решении задач по расширению минерально-сырьевой базы урана. Под его руководством и личном участии осуществлялась разработка технологии добычных работ с использованием усовершенствованных методик получения дистанционной информации о качестве урановых руд по обеспечению снижения потерь металла и разубоживания минерального сырья в Советско-Германском акционерном обществе (СГДО)- "Висмут" (б. ГДР, Земля Саксония) и в Целинном горно - химическом комбинате - ЦГХК (Казахстан, г. Степногорск, Целиноградской области).

Ниже остановимся на опыте разработки технологий радиометрических работ для решения задач основного производства (2).

1. Разработка и внедрение технологии селективной отработки рудных тел сложной морфологии с поковшовой сортировкой руд

Одной из основных проблем горной промышленности является снижение потерь металла и разубоживания руд при добыче и транспортировке, которые наносят народному хозяйству значительный экономический ущерб.

Основными технологическими процессами, которые определяют показатели потерь и разубоживания при открытой разработке сложных месторождений, являются взрывные и погрузочные работы, которые до середины 60-х годов ограничивались лишь снижением высоты уступа и выхода негабарита.

В конце 60 - х годов на Роннебургском рудном поле в СГАО "Висмут" получила дальнейшие развитие технология буровзрывных работ. Это позволило существенно повысить качество дробления горных пород и компактно укладывать руды после взрывов без нарушения первоначальной геологической морфологии массива (Горно-добывающее предприятие - ГДП"Л", открытая разработка верхней части месторождения "Ш"). Первоначальная морфология рудных тел сохраняется при этом благодаря управлению энергией взрыва при максимальном ее использовании на разрушение массива. Подвижки массива в горизонтальном направлении в этом случае минимальны, а деформация рудного тела по вертикали не превышает 10 - 15%. Таким образом, рудное тело после взрыва практически остается на месте залегания без существенных изменений первоначальной структуры. Это позволило сохранить природную контрастность оруденения; появилась возможность отрабатывать рудное тело только с учетом данных радиометрического опробования взорванной части залежи, получаемых в результате гамма - каротажа взрывных скважин перед их взрывом.

Однако наиболее тщательная селекция руды и даже некоторое ее первичное обогащение оказались возможными только после разработки и применения радиометрической сортировки горнорудной массы по ковшам экскаваторов.

Существовавшая на ГДП "Л" до середины 60-х годов методика радиометрического опробования руд в процессе очистных работ, заключавшаяся

в измерении оператором - геофизиком гаммаизлучения стенок уступов и выпалов из них горнорудной массы с помощью переносных гамма-радиометров, не соответствовала применяемым техническим средствам добычи. Недостатки данной методики и организации радиометрического опробования руд:

- невозможность обеспечения повсеместного радиометрического контроля и опробования рудных забоев по техническим причинам: наличие старых, ранее пройденных при отработке подземным способом горных выработок, зон обрушений, осыпей и вывалов, в пределах которых проведение геофизических работ запрещено по условиям техники безопасности;

- низкая эффективность сортировки горнорудной массы по содержанию металла в процессе ее экскавации, так как результаты радиометрических измерений с переносным гамма-радиометром в постоянно движущемся забое в большинстве случаев являлись усредненными, не учитывающими многих важных факторов: неравномерность оруденения, наличие маломощных безрудных пропластков, локальных участков руд с высоким содержанием металла и т. п.;

- необходимость содержания в очистных забоях для радиометрического опробования руд и маркирования границ рудных тел геофизического персонала, численность которого вследствие больших объемов очистных (4-5 забоев) и вскрышных (2-3 забоя с попутной добычей руды) работ была весьма значительной. Указанные недостатки радиометрического опробования руд на очистных работах предопределяли значительные потери металла и разубоживания руд.

Селективная выемка с поковшовой сортировкой оказалась рациональной в условиях отработки карьером верхней части месторождения "Ш", на котором рудные тела представлены неправильными линзами и гнездами площадью в сотни-тысячи квадратных метров, перемежающимися с безрудными включениями вмещающих пород.

Коэффициент рудоносности оконтуренных рудных тел обычно не превышал 50%, оруденение в рудных телах распределено неравномерно. Коэффициент вариации содержания металла (по рудному пересечению) достигал 200%, а метропроцента - 250%. Благодаря этому отрабатываемое месторождение обладало достаточной контрастностью не только по штуфам, но и по объемам, соизмеримым с размерами ковша (1,5-3,0 м^3). В этих объемах руды месторождения имеют среднюю контрастность по коэффициенту контрастности (Р = 1,1-1,25).

В течение 1969-1971 гг. автором, работавшим главным геофизиком на ГДП "Л", были проведены комплексные исследования по оптимизации геолого - геофизического обслуживания горных работ, расчеты по оценке контрастности урановых руд в массиве по методике Л.Ч.Пухальского (1963 г.) на основании данных эксплуатационной разведки и в различных порциях руд (ковши экскаваторов емкостью 1,6 м^3 и 3,0 м^3 и автосамосвалы грузоподъемномтью 6,0 и 11,0 т), позволившие обосновать эффективность и экономичность отработки месторождения 10-метровыми уступами с применением на очистных работах ковшов емкостью 3,0 м^3. Под методическим руководством автора осуществлена разработка радиометра ЭКР-3 (ЭКР-3М) и его опытно - производственная эксплуатация.

В 1971 году экскаваторы на ГДП "Л" были оборудованы много счетчиковыми радиометрами типа ЭКР-3 (ЭКР-3М). Специфика работы экскаваторов предъявила к аппаратуре особые технические требования (простота, прочность конструкции, влагонепроницаемость, вибро- и удароустойчивость основных узлов и деталей). Поскольку в процессе работы опробованием занимается машинист экскаватора, методика работы с

радиометром должна быть максимально проста. Время опробования горнорудной массы не должно было снижать производительность экскаватора. Таким требованиям в полной мере удовлетворял разработанный на предприятии радиометр ЭКР – 3 (ЭКР - 3М). Комплект аппаратуры состоит из пульта, 2-3 кассетдатчиков гамма-излучения с распределительной коробкой, соединительного кабеля, выносного индикатора и блока питания.

В отличие от стандартных радиометров пульт этого радиометра имеет только один диапазон измерений. На пульте установлен канал компенсации натурального фона гамма-излучения.

В качестве датчиков гамма-излучения использовались виброустойчивые газоразрядные счетчики СТС-6, по 6 счетчиков в одной кассете. В зависимости от емкости ковша экскаватора (1,6 или 3,0 м^3) на ковше устанавливались 2 или 3 кассеты. Кассеты вмонтированы в стальные стенки ковша и помещены в специальные гнезда на внутренних стенках ковша экскаватора. Счетчики в кассете помещены в блоке из пористой резины. Кассета в свою очередь снабжена противоударными резиновыми прокладками и полностью герметизирована, что позволяет избежать механических повреждений датчиков и проникновения в них влаги. В кассетах смонтирован блок усиления первичных импульсов. В кабинете машиниста установлен выносной индикатор, представляющий собой микроамперметр с достаточно широкой шкалой (100 мкА), удобной для визуального отсчета. Чувствительность радиометра контролируется с помощью специального точечного рудного эталона с известным содержанием радиоактивных элементов.

В дальнейшем пороговые показания ЭКР-3 (ЭКР-3М) уточнялись путем сравнивания показаний ковшовых радиометров с показаниями автомобильных РКС. На основе статистических данных рассчитывался поправочный коэффициент:

$$K = \sum \text{рад} / \sum \text{ркс},$$

где $\sum$ рад - данные ЭКР;
$\sum$ ркс - данные ГЭА.

Поскольку пересчетные коэффициенты для РКС определяются с высокой степенью точности на основании валового опробования больших партий руды и при этом учитываются основные радиологические характеристики руды - коэффициент эманирования, коэффициент радиоактивного равновесия (Кэм.Крр), такой способ эталонирования экскаваторных радиометров не требует введения дополнительных поправок на сдвиг радиоактивного равновесия и эманирование.

Сам процесс выборочной экскавации и последующей поковшовой сортировки горнорудной массы методически и технически несложен.

Сортность горнорудной массы измеряется во время наполнения ковша и транспортировки руды до автосамосвала. В один самосвал обычно разгружаются ковши с рудой примерно одинакового качества или только отвальной массой; загрузка в один самосвал кондиционной руды и пустой породы не допускается. Раздельная загрузка в автосамосвалы рудной массы и пустой породы обычно осуществляется одновременно в два атосамосвала при левом и правом положении стрелы экскаватора.

Внедрение в 1972 году поковшовой сортировки в 100% объеме на очистных и вскрышных работах позволило принципиально изменить технологию

добычи на ГДП "Л".

Отработка рудных тел начала осуществляться по 10-метровым уступам, а не по 5-метровым, как это было до внедрения новой технологии.

На очистных работах стало возможным применение экскаваторов с емкостью ковша 3,0 м^3 (вместо 1,6 м^3), на транспортировке горнорудной массы стали использоваться более грузоподъемные автосамосвалы, что обеспечило повышение производительности добычи.

Разубоживание руд снизилось на 12%, качество товарной руды повысилось на 5,7%. Себестоимость добытого металла составила в 1972 - 1976 годах около 50% от аналогичного показателя при отработке месторождений Роннебургского рудного поля шахтным способом .

Расчет годовой экономии по статьям расходов производился по следующей формуле:

$$Ег = Еб + Евм + Еавт.+ Еж.д. + Еркс + Епер + Еп - Еку, \qquad (1)$$

где Еб - снижение затрат на бурение взрывных скважин;

Евм- снижение затрат на взрывчатые материалы;

Еавт - снижение затрат на внутрикарьерном автомобильном транспорте ;

Еж.д.- снижение затрат на железнодорожном транспорте между карьером и перерабатывающими предприятиями;

Еркс - снижение затрат за счет сортировки руды в ковшах экскаваторов с радиометрами, используемыми непосредственно в забое и вывозке отсортированной массы во внутренние отвалы вскрыши, минуя РКС;

Епер - снижение затрат на переработку руд на перерабатывающих предприятиях;

Еп- снижение затрат на добычу за счет уменьшения потерь руды и, следовательно, изменения коэффициента погашения вскрыши;

Ек - суммарная стоимость капитальных вложений эксплуатационных затрат на устройство датчиков.

Годовой экономический эффект от внедрения новой технологии составил 2336 тыс. нем. марок и 318,4 тыс. руб. в ценах 1973 года.

Опыт широкого применения ЭКР - 3 (ЭКР-3М) на ГДП "Л" был в дальнейшем заимствован и использован на отечественных горнодобывающих предприятиях отрасли (ПГХК).

2. Обоснование оптимальных геометрических условий измерений при гамма - экспресс - анализе (гэа) руд в транспортных сосудах

В начале 70-х годов ГЭА добытых руд в вагонетках, автосамосвалах, ж/д вагонах выполнялся радиометрической аппаратурой с газоразрядными блоками детектирования (ГБД) и сцинтилляционными блоками детектирования (СБД).Разработка аппаратуры с ГБД осуществлялась в 1955-1958 годах (РСР-3, РСР-6, РСР-7), а с СБД в 1968-1970 гг. (СРК-2, СГ-2М, УРКС). К середине 70-х годов указанная аппаратура морально и технически устарела. В связи с этим началась разработка новой унифицированной аппаратуры "РКС- ряд" для целей ГЭА на всех предприятиях отрасли. Разработке аппаратуры предшествовали научно-исследовательские и опытно-методические работы по обоснованию

нового технического решения узлов и защиты СБД с универсальными коллиматорами, создание которых позволило бы в фактических условиях монтажа СБД подбирать геометрические условия гамма-измерений, близкие к оптимальным.

Общие требования к выбору оптимальных геометрических условий измерения в кратком виде сводятся к следующему: для наиболее массовых видов ГЭА - количественная оценка массовой доли содержаний урана и сортировка руд в каждой вагонетке или самосвале (при измерении в стационарном режиме) - необходимо обеспечение высокой эффективной чувствительности при малых экспозициях измерений (t < 20-30 с), регламентированных технологическим циклом процесса добычи. В соответствии с этим в качестве основного критерия оптимизации геометрических условий измерений был принят универсальный параметр a_n:

$$a = \left[\frac{\sum_{1}^{n} \left(J_i - J_{iфo} \right)}{\sum_{1}^{n} J_{iфo}} \right]_{max} = \left[\frac{\sum_{1}^{n} J_{ip}}{\sum_{1}^{n} J_{iфo}} \right]_{max} \qquad (2)$$

где J_i, J_p - статистическая оценка измеренной и истинной средней скорости счета каждого детектора комплекса РКС;

$J_{iфo}$ - фон каждого детектора («нулевой»);

n - число детекторов в рабочем комплексе рудоконтрольной станции (РКС).

Значения J определяются параметрами БД и геометрическими условиями измерения руд с данной массовой долей урана. Аналитическое выражение J_i более просто для СБД (по сравнению с ГБД), который практически является точечным приемником по отношению к полубесконечной излучающе-поглощающей среде - эквиваленту рудных проб в различных транспортных сосудах. В случае участка прямоугольной геометрии (a,b) для материала с равномерным распределением массовой доли урана относительная скорость счета J_o/J_o в любой точке пространства определяется известным выражением (по Булашевичу Ю.П., 1957г.).

При изменении Н от 1 до 100 см величина J_i/J_o для вагонеток, самосвалов и вагонов уменьшается от 0,99 до 0,05.

Проведенная оценка влияния геометрических условий измерений качественно характеризует сочетание одного точечного детектора и полубесконечного излучателя с равномерной концентрацией металла .

При ГЭА различных видов применяются, как правило, сложные многодатчиковые системы, а контролируемые руды характеризуются определенной контрастностью. В этом случае пространственные особенности гамма - поля можно наглядно оценить с помощью величины параметра (W) , мкР/ч см :

$$W = J_0 \iint dx * dy = K\,пер * q * S, \qquad (3)$$

$$1 = \gamma\ (x, y)$$

где S - площадь изучающей поверхности;
Кпер - пересчетный коэффициент (для полупространства);
q - концентрация излучателя.

При неравномерном оруденении согласно принципу аддитивности:

$$W = \sum_{1}^{m} W = K пер \cdot \sum_{1}^{m} q_i \cdot S_i, \qquad (4)$$

где q_i, S_i - концентрация излучателя и площадь отдельных участков с практически равномерным содержанием металла;
m - число участков.

Таким образом, форма поверхности объема интенсивности W отражает распределение металла по площади излучателя, и система детекторов должна обеспечивать минимальные искажения при регистрации гамма- излучения каждого отдельного участка.

Из анализа основного критерия оптимальности с учетом рассмотренных факторов следует, что оптимальные геометрические условия измерений с СБД в экранах должны удовлетворять следующим условиям:

- соотношение сигнал-фон и объемная представительность измерений являются максимально возможными для данного вида и условий ГЭА;
- зона чувствительности возможно более равномерна и симметрична и не выходит за пределы контролируемой поверхности излучателя, что обеспечивает практическую независимость измеряемой скорости счета от изменения расстояния детектор-излучатель и от величин излучения соседних сосудов при безрасцепном контроле составов;
- изменение уровня и формы слоя руды в сосудах, а также возможные загрязнения нижней части сосудов, характерные для определенных условий ГЭА, минимально влияют на результаты измерений;
- для обеспечения наибольшей относительной чувствительности измерений расстояние детектор-излучатель берется минимальным для данных условий проведения ГЭА;
- углы коллимации выбираются в соответствии с требованиями 1-3 с учетом мощности насыщенного слоя по гамма-излучению и условий поглощения в стенках данных транспортных сосудов.

С учетом габаритов транспортных сосудов и геометрических условий измерений произведен расчет комплекта оптимальных коллиматоров для ГЭА горнорудной массы в транспортных сосудах, которые реализованы в разработке РКС "Алмаз" (табл. 1).

Таблица 1

Комплект оптимальных коллиматоров СБД для ГЭА горнорудной массы в транспортных сосудах

Тип транспортного сосуда	Прямоугольные коллиматоры для ГЭА в стационарных условиях СБД сбоку (2в - вертикальная плоскость, х2ц - горизонтальная плоскость	Круговые коллиматоры для ГЭА вагонеток в движении
Вагонетки	35^0 x 40^0 45^0 x 60^0 45^0 x 120^0 50^0 x 60^0 60^0 x 100^0 65^0 x 80^0	35^0 45^0 50^0 60^0 65^0
Автосамосвалы (МАЗ, КРАЗ, БЕЛАЗ)	40^0 x 80^0 40^0 x 50^0 60^0 x 115^0 65^0 x 70^0 70^0 x 95^0	
Железнодорожные вагоны и думпкары	40^0 x 65^0 40^0 x 75^0 40^0 x 85^0	

Унифицированная аппаратура "АЛМАЗ" для проведения ГЭА горнорудной массы в транспортных сосудах состоит из базового комплекта и набора дополнительных устройств.

Базовый комплект включает:

узел радиометрический УР-11	2шт.	
блок регистрации и питания РКС-1	1шт.	
коробку соединительную КС-	4	1шт.
комплект кабелей	1 шт.	

В состав УР-11 входит СБД на сцинтиблоке БДЭ - 2 4-42А с кристаллами NaJ(Tl), 40х40мм, свинцовый экран с основным коллиматором 120^0 x 80^0 и набором сменных бленд, бленкерное устройство типа БИТ-6.

К каждой КС-4 подсоединяется до 6 узлов УР-11. В блоке РКС-1 осуществляется абсолютный счет импульсов (емкость памяти $M=10^6$ имп), компенсация гамма-фона, автоматическое определение сорта руды по заданным регулируемым порогам.

В рамках данного направления работ автор принимал участие в сборе и анализе материалов по точности ГЭА, оценке точности определения пересчетных коэффициентов (Кпер) для РКС по валовым переработкам руд, в обосновании новых технических решений узлов защиты СБД с универсальными коллиматорами, испытании в производственных условиях на рудниках ЦГХК аппаратуры "Алмаз".

С 1980 г. аппаратура "АЛМАЗ" широко внедряется на горнодобывающих предприятиях отрасли. Годовой экономический эффект от внедрения одного комплекта аппаратуры составляет 11,4 тыс. руб.

3. ГЭА товарных руд установкой ркс-т в условиях гидрометаллургического завода (гмз)

В числе задач внедрявшейся в 70-х годах на ГМЗ системы АСУТП важная роль отводится разделу ОУГЮ (оперативное управление, планирование и отчетность) как составной части товарного контроля. Одним из вариантов контроля поступающей в переработку руды является ГЭА с помощью установки РКС-Т. Разработанная ЦНИЛА установка предназначена для ГЭА руд с естественной радиоактивностью, транспортируемых конвейерами с резино-тканевой лентой по ГОСТ-20.62. Она обеспечивает определение общей массы руды и заключенного в ней урана за время движения ленты с весовой нагрузкой, превышающей заданный пороговый уровень. В установке впервые реализован принцип циклических измерений мгновенной погонной нагрузки и относительного содержания урана в порциях руды, находящихся в зоне чувствительности блока детектирования установки. Длительность каждого цикла экспозиции постоянна, а частота пропорциональна фактической скорости движения ленты транспортера.

Весовая (массовая) нагрузка определяется в блоке БУВ, масса урана-радиометрическим каналом БУР. При этом колебания весовой нагрузки на ленте автоматически учитываются в блоке БУР с помощью экспериментальной поправочной функции. Эта принципиальная особенность схемы установки РКС-Т в сочетании с циклическим способом измерений обеспечивает существенное повышение точности данных ГЭА на транспортерах по сравнению с результатами непрерывных измерений, выполняемых с применением пересчетных приборов.

Характерная для измерений на транспортерах случайная неравномерность распределения урана по длине и вертикальным сечениям потока рудной массы статистически усредняется при экспресс - анализах. Масса руд .необходимая для получения такого статистического усреднения, зависит от степени их неоднородности и заданной погрешности определенных видов анализов (за смену, сутки, неделю, по отдельным партиям и т.п.). Установка РКС-Т проходила производственные испытания и дальнейшую опытно-производственную эксплуатацию на ГМЗ ЦГХК. В период испытаний были переработаны 3 контрольные валовые партии товарных руд общей массой 1546 т. По первым двум из них в процессе переработки осуществлялись отсечки частных партий с массой руды около 100т, с опробованием, разделкой проб и последующим определением содержаний урана по данным химанализов.

Данные измерений установки РКС-Т по весовому каналу сравнивались с результатами взвешивания массы руды на ленточных транспортерных весах типа ЛТМ, а данные радиометрического канала - с результатами головного опробования ОТК ГМЗ (табл. 2).

Погрешности в определении установкой РКС-Т массы руды и металла находились в пределах 13%.

В период опытно-производственной эксплуатации РКС-Т Кпер определялись двумя независимыми методами: по переработкам 5 валовых проб товарных руд с общей массой 6395т и по сопоставлению результатов ГЭА и головного опробования на ГМЗ по месячным переработкам руд в период март-май 1977г.

Таблица 2

Сопоставление результатов определения содержания урана в суточных переработках товарной руды на ГМЗ по данным РКС-Т и ОТК (головное опробование)

Показатели	Единицы измерения	1977 год	В том числе по месяцам		
			март	апрель	май
Количество сопоставлений, n	Пар	90	31	29	30
Си по данным РКС-Т	$x\ 10^{-3}$ %	89	89	89	89
Си по данным ОТК (х/а)	$x\ 10^{-3}$ %	90	93	87	91
Среднеквадратичное расхождение,	$x\ 10^{-3}$ %	1,4	1,8	3,4	1,9
tф		1,14	2,30	0,40	1,00
tтабл.		1,99	2,04	2,04	2,04

Установка РКС - Т в непрерывном режиме измерений для ГЭА позволяет оперативно и с заданной точностью учитывать количество и качество руды непосредственно в процессе поступления в переработку и обеспечивает эффективное ее использование при шихтовке руд в процессе переработки на ГМЗ, что создает предпосылки для более оперативного регулирования технологического процесса с целью его оптимизации.

Производственные испытания и опытно-производственная эксплуатация установки РКС-Т в условиях ГМЗ на ЦГХК проводились под научно-методическим руководством и при непосредственном участии автора, которым осуществлялись сбор, обработка, обобщение и интерпретация данных ГЭА товарных руд.

С конца 80-х годов установки РКС-Т используются на предприятиях отрасли в составе комплексов измерительных средств АСУТП рудников и ГМЗ для оперативного получения информации о количестве и качестве добытых и перерабатываемых руд. Годовой экономический эффект от внедрения одного комплекта РКС-Т на 1 очереди ГМЗ ЦГХК составил 7,4 тыс .руб.

4. Метод подземной радиометрической забойной сортировки (РЗС) горнорудной массы погрузочно-доставочными машинами

Теоретические исследования и испытания метода призабойной радиометрической сортировки при системе разработки со слоевой выемкой в ПГХК показали, что при крупнопорционной сортировке неклассифицированной руды в забое погрузочно-доставочными машинами, оснащенными измерительной аппаратурой, выход хвостов выше, чем на установке РКС.

Месторождение "В", на котором проводились экспериментальные исследования подземной радиометрической забойной сортировки (РЗС) рудной массы, отрабатывалось системой подэтажного обрушения с торцовым выпуском руды. Руда обрушалась взрывными скважинами, пробуренными из ортов и пройденными через 8 - 10 метров. Рудная масса из забоев после погрузки самоходными машинами с емкостью бункера 1 м^3 (ЛБ-125/1000) или 1,5 м^3 (МПДН-1) доставлялась к рудоспускам. На откаточном горизонте рудная масса перегружалась в шахтные вагонетки типа УВГ-2,5 и в них доставлялась на поверхность, где подверглась ГЭА на установке РКС.

Для изучения возможности применения этого метода при данной системе разработки был проведен ряд экспериментов. Экспериментальные исследования и производственный эксперимент по оценке метода РЗС осуществлялись под методическим руководством автора: выбор блоков для проведения экспериментов; исследования по оценке контрастности урановых руд в массиве и в порциях руды емкостью 1,0 и 2,0 м^3; анализ и интерпретация полученных материалов. Испытания проводились с измерительной аппаратурой типа РДМ-73 (макетный образец) и "Карат" (опытный образец), устанавливаемых соответственно на погрузочно - доставочных машинах ЛБ-125/1000 и МПДН-1. Анализ результатов сортировки в забое и на установке РКС приведен в табл. 3.

Таблица 3

Показатели гамма-экспресс-анализа рудной массы в забое (метод РЗС) и на установке РКС

Время и место проведения эксперимента	Вид выполняемых работ	Объем сортировки, принятый для сравнения	Выход хвостов, %			Тип сортировочной аппаратуры
			РЗС	РКС	РЗС-РКС	
1	2	3	4	5	6	7
Апрель 1975 г., блок № 329, гор. + 220 м	Очистная выемка	550	53	34	19	Макетный образец РДМ-73
Февраль-март 1976 г., блок № 330, гор.+208 м	Очистная выемка	620	4,2	1,7	2,5	РДМ-73
Август 1976 г., блок № 325, гор.+ 210 м	Нарезка ортов	220	27	0	27	РДМ-73
Май 1977 г., блок № 328, гор.+ 200 м	Очистная выемка	998	17,3	10,8	6,5	РДМ-73
Июль 1977 г., блок № 328, гор.+ 200 м	Очистная выемка	885	16,6	7,1	9,5	РДМ-73
Октябрь 1977 г., блок № 328, гор.+ 190 м	Нарезка ортов	805	12,6	0,4	12,2	Опытный образец "Карат"
Итого:		4078	19,6	9,1	10,5	

Подземная забойная сортировка проводится в условиях частичного перемешивания горнорудной массы в забое, когда руда и пустые породы в отбитой секции обладают достаточной контрастностью.

В среднем за 6 экспериментов можно было бы отделить хвостов на 54% (или 10,5% абсолютных) больше по сравнению с РКС. Данная возможность обусловлена исключением перемешивания выделенных при РЗС и отгруженных в отдельные рудоспуски товарной руды и хвостов, а также уменьшением сортируемой порции (емкость бункера ПДМ в 2 раза меньше емкости вагонетки).

С целью проверки полученных данных был запланирован и проведен производственный эксперимент по оценке эффективности применения подземной забойной сортировки рудной массы с аппаратурой "Карат" в реальных условиях отработки подэтажа в блоке №328. Испытания проводились на гор. +190м с 14.11.77г. по 20.02.78г. При этом побункерный ГЭА рудной массы проводился рабочим очистной бригады с помощью аппаратуры "Карат", установленной на машине МПДН-1. Методическая часть эксперимента и контроль за стабильностью работы аппаратуры и чувствительностью детекторов проведены с участием автора.

За период испытаний (140 смен) сортировка рудной массы с последующим перепуском товарной руды от РЗС и хвостов по отдельным восстающим осуществлялась в течение 88 смен. По данным очистной бригады блока М 328 за весь период эксперимента было отгружено 9313т рудной массы, а по данным ОТК за это же время из блока выдано и промерено на РКС 9217 т из 10976 т, выданных из этого подэтажа. Погрешность в учете рудной массы по данным очистной бригады и ОТК составляет около 1%. что безусловно обеспечивает необходимую точность дальнейших сопоставлений.

Сортировке, по данным бригады, подвергалось 5877 т рудной массы.

Среднее содержание металла в товарной руде, выданной из обоих рудоспусков, при работе с "Каратом" составило 0,05955%, в том числе в выданной из рудоспуска № 428-0,06001%, а при работе без "Карата" соответственно - 0,05718 и 0,0536%. Таким образом, при работе с "Каратом" получено улучшение качества выдаваемой товарной руды из блока на 4,1%, в том числе из рудоспуска № 428 - на 12%.

На основании данных проведенных испытаний можно сделать следующие выводы:

- результаты испытаний подземной радиометрической забойной сортировки рудной массы погрузочно-доставочными машинами, оснащенными сортировочной аппаратурой, указывают на достаточную эффективность метода РЗС при системе подэтажного обрушения;

- основным показателем эффективности метода РЗС в условиях отработки месторождения системой подэтажного обрушения является увеличение выхода хвостов сортировки горнорудной массы в забое на 10-12% по сравнению с аналогичным показателем на РКС.

Аналогичные показатели по радиометрической забойной сортировке горнорудной массы были получены позднее в СГАО "ВИСМУТ".

5. Аппаратурно-методические разработки

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские, а также опытно - методические работы по данной тематике проводились с участием автора на двух предприятиях отрасли: в ЦГХК- с 1975 по 1983гг. и в СГАО "Висмут" - с 1986 по 1990гг.

В ЦГХК эти работы проводились под научно-методическим руководством геофизической лаборатории ВННИИХТ при участии геофизических служб ГДП и ГМЗ и геофизической лаборатории ЦНИ.Ч, руководителем которой автор был в период 1975-1980гг.

В СГАО "Висмут" разработкой аппаратуры и методик опробования занимался геофизический отдел НТЦ, которым автор руководил с 1987 по 1990гг.

Разработка аппаратуры выполнялась в основном на элементной базе, используемой в электронной промышленности ГДР, что позволило СГАО"Висмут" отказаться от импорта дорогостоящей аналогичной аппаратуры из других стран.

Номенклатура выпускаемого парка аппаратуры пополнилась за 1986-1990гг. 15 новыми разработками, основными из которых являются :

1 Аппаратура серии "Унирад", предназначенная: для опробования и сортировки отбитой горнорудной массы в транспортных емкостях и на конвейерных лентах ("УнирадТ"); проведения комплексного 3 компонентного каротажа подземных скважин глубиной до 100 м на детальной и эксплуатационной разведке ("Унирад-403");

- опробования качества горнорудной массы на очистных работах силами горного персонала ("Унирад-МБ", -МБ/А");

- количественного опробования очистной выемки по плоскости забоя , на стенках выработок и в шпурах силами персонала геологогеофизической службы горнодобывающих предприятий ("Унирад МГ/Т"); количественного опробования стенок горных выработок для условий ГДП ("Унирад - МГ/К"), отрабатывавшего месторождение со сложными радиологическими свойствами; радиометрического опробования керна буровых скважин для Геологического предприятия ("Унирад-МГ/Г").

2 Система централизованного сбора и обработки данных РКС (RKS - DU) для оперативного контроля добычи и отгрузки руды на рудниках.

3 Четыре типа каротажных зондов (комбинированный: гамма- и инклинометрический, аварийный, гамма-, гамма-спектрометрический) к аппаратурно-измерительному комплексу БЛА - 84 для Геологического предприятия.

4 Цифровой регистратор (ДЕГ-2) каротажных данных к комплексу БЛА-84.

Годовой экономический эффект от аппаратурно – методических разработок для обеспечения основного производства составил в этот период 356 тыс. нем. марок.

6. Учет сезонного эффекта радоновыделения по повышению достоверности информации о массовой доле урана в добытом сырье

В условиях урановых горнодобывающих предприятий, где гамма-экспресс-анализы в транспортных сосудах являются важнейшим методом опробования, учета и сортировки добытых руд. Особое значение приобретают вопросы надежного и достоверного определения радиологических

характеристик, одной из которых является эманирование отбитой горнорудной массы. Правильный учет эманирования и введение соответствующих поправок обеспечивают снижение погрешностей ГЭА.

Вопросы влияния эманирования на результаты гамма- измерений и его учета были изучены на двух эксплуатируемых месторождениях (месторождения "В" и "И") применительно к ГЭА отбитой горнорудной массы в вагонетках и железнодорожных вагонах.

Как известно, потеря части свободного радона раздробленной руды влечет за собой уменьшение интенсивности гамма - излучения. Поскольку учесть изменение интенсивности гамма - излучения при ГЭА трудно вследствие изменения радоновыделения в зависимости от климатических условий, в которых находится горнорудная масса (температура окружающей среды, смерзание кусков, влажность), то радоновыделение является одной из основных причин погрешностей ГЭА в транспортных сосудах.

Радоновыделение из больших масс руд зависит от коэффициента эманирования руды и диффузии радона через рудную массу к ее поверхности. Предельное количество радона, которое может быть удалено из руды, равно коэффициенту эманирования руды при данной крупности частиц и фактической влажности.

В момент пересыпки руды в процессе ее добычи или погрузки происходит практически полное деэманирование, то есть потеря всего свободного при данных условиях радона. При этом следует иметь в виду, что продукты распада радона приходят в радиоактивное равновесие с радоном в течение 2 - 3 часов. Поэтому и после потери радона из руды интенсивность ее гамма-излучения еще продолжает уменьшаться.

Потери радона при хранении руды в штабелях или в транспортных сосудах в процессе длительной транспортировки определяются не только коэффициентом эманирования.но и скоростью перемещения радона к свободной поверхности, через которую радон выходит во внешнее пространство. Этот процесс обычно моделируется диффузионным процессом и характеризуется, соответственно, эффективным коэффициентом диффузии. В связи с отмеченным становится очевидным, что оценить влияние радоновыделения на интенсивность гамма-излучения рудной массы расчетным путем невозможно, остается только путь прямых экспериментов.

В начале 70-х годов были сделаны попытки связать изменение пересчетных коэффициентов ГЭА с изменением ряда метеорологических параметров: температурой и давлением. По мере накопления информации стало ясно, что радоновыделение из рудной массы зависит лишь от ее температуры, то есть косвенно от температуры окружающей среды.

Механизм влияния температуры на радоновыделение полностью еще не выяснен. Имеющиеся данные указывают на уменьшение радоновыделения при снижении температуры ниже нуля. Если это связано с замерзанием влаги, то следовало бы ожидать скачкообразного изменения радоновыделения. В опытах же наблюдается более или менее плавное изменение радоновыделения, которое может быть связано с постепенным промерзанием рудной массы, обладающей низкой теплопроводностью.

Изменение интенсивности гамма-излучения руды после выдачи из шахты в вагонетках (без пересыпки) через различные интервалы времени показало, что при отрицательных температурах наружного окружающего воздуха интенсивность гамма-излучения увеличивается для руд месторождения "В" на

10% , для руд месторождения "И" этот показатель составляет 8%. Время установления нового уровня интенсивности зависит от температуры: чем ниже температура, тем быстрее устанавливается постоянное значение интенсивности гамма-излучения. Эта зависимость, вероятно, обусловлена временем полного охлаждения руды до новой температуры.

При хранении вагонеток с рудой при положительных температурах наблюдалось уменьшение интенсивности гамма-излучения на 3-6% по сравнению с начальной, измеренной сразу же после подъема вагонеток, что связано, по всей вероятности, с уменьшением влажности руды. Исследованиями установлено, что увеличение интенсивности гамма-излучения при отрицательных температурах происходит за счет уменьшения выделения радона из отдельных кусков, а не из воздушного пространства между ними. Специальные опыты для проверки механизма потерь радона из отдельных кусков показали, что выделение радона из штуфов массой 50-100г при температуре -16°С вдвое меньше, чем при +20°С. Для оценки сезонных изменений эффекта транспортировки руд был принят способ равнения исходной информации поставщика (ЦГХК) и потребителя (ЛГХК) с их последующей статистической обработкой. Период сопоставления включал в себя 27 календарных месяцев (7209 ж/д вагонов) по месторождению "В" и 15 календарных месяцев (2569 ж/д вагонов) по месторождению "И".

Опытно-методические работы 1974-1978 гг. позволили обосновать необходимость учета сезонной поправки "S", вводимой в пересчетный коэффициент (К пер) для ГЭА, при дальней транспортировке руд:

$$\text{Если } S = \frac{K^{л}_{пер}}{K^{з}_{пер}}, \text{ тогда } S_{потр.} = S_{пост} \frac{a_{зим}}{a_{лет}},$$

где $K^{л}$ пер, $K^{з}$ пер - пересчетные коэффициенты для ГЭА в летний и зимний периоды;

$S_{пор.}$,$S_{пост}$ - сезонная поправка, вводимая в пересчетные коэффициенты потребителя и поставщика.

Величина $a_{зим}$, $a_{лет}$ имеют смысл поправок, учитывающих изменение эффекта радоновыделения (и сегрегации) при перевозке руд в летних и зимних условиях на значительные (до 3 тыс. км) расстояния.

Особое практическое значение применение сезонной поправки "S" имело место при переработке руд горнодобывающих предприятий ЦГХК на южных родственных предприятиях отрасли (ЛГХК, КГРК), где осуществлялась их переработка. Введение сезонной поправки S при поставках, требующих длительной транспортировки, устранило традиционные систематические расхождения между данными ГЭА товарных руд при отгрузке и приемке.

Таким образом, в области рудничной радиометрии :

- разработана и внедрена новая технология добычных работ на ГДП "Л" СГАО "Висмут" с использованием усовершенствованной методики получения дистанционной информации о качестве урановых руд, обеспечивающая снижение

потерь металла и уменьшение разубожирования руд;

- дано теоретическое обоснование и выполнены расчеты оптимальных геометрических условий измерений при ГЭА руд в транспортных сосудах (вагонетки, автосамосвалы, железнодорожные вагоны и думпкары) на горнодобывающих предприятиях ЦГХК и СГАО "Висмут". Обоснован комплект оптимальных коллиматоров СБД для ГЭА горнорудной массы в транспортных сосудах.

- проведены производственные испытания и опытно-производственная эксплуатация установки РКС-Т, обеспечивающая эффективное ее использование при шихтовке руд в условиях ГМЗ (ЦГХК);

- разработана и опробована методика радиометрической крупнопорционной сортировки неклассифицированной руды в забое погрузочно-доставочными машинами в ЦГХК и СГАО "Висмут";

- выполнены НИОКР и осуществлен серийный выпуск 15 новых разработок аппаратуры для обеспечения основного производства ГДП СГАО "Висмут";

- разработана методика оценки сезонного эффекта радоновыделения при товарном контроле добываемых и перерабатываемых руд на предприятиях отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 С.С.Наумов, М.В.Шумилин. Годы и открытия: очерк истории урановой геологии России. В журнале "Отечественная геология" № 9/1995, М., с. 5-10.

2 М.А. Изюмов. Разработка технологий радиометрических и радиоэкологических измерений на примере предприятий по добыче и переработке ядерного сырья. Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологоминералогических наук. г. Екатеринбург, 1997, 44с.

КОНЦЕПЦИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ. ГОРОД И ЦИВИЛИЗАЦИЯ

Е.Н. Логунцев

Доклад на междисциплинарном семинаре. Заречный, апрель 1999г.

1 Устойчивое развитие – термин, понятие, концепция

Термин «устойчивое развитие» (sustainable development) впервые появился в биологии и относился к такому развитию популяций некоторого биоценоза, при котором сохраняется целостность этого биоценоза как системы. В 1992г. на конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро этот термин был использован в качестве названия новой концепции существования всего человечества. Концепция устойчивого развития была сформулирована как способ преодоления главной для современной цивилизации экологической угрозы, связанной с перенаселением, с невосполнимым расходованием природных ресурсов и с загрязнением окружающей среды.

Представления о такой угрозе существовали ранее в виде некой теоретически обоснованной опасности, осознаваемой сравнительно узким кругом ученых и политиков. Соответственно и подход к решению проблем, связанных с этой угрозой, был узко научным. Так в 70-е годы усилиями объединения ученых и политиков, известного как «Римский клуб», на основе анализа компьютерных моделей нашей цивилизации была разработана концепция необходимого сдерживания роста населения. Существовали и другие научные разработки и прогнозы, которые, несмотря на чрезвычайность их выводов, не получили общественного резонанса и не оказали какого-либо влияния на политические и экономические решения правительств и корпораций. Однако, начиная с середины 80-х годов, прогнозы о сокращении количества продовольствия и энергии на душу населения начали подтверждаться. К этому же времени стали заметны признаки антропогенных изменений климата.

В результате в мировом сообществе появилось осознание того, что скоро и неизбежно человечество столкнется с необходимостью решать проблему перенаселения и связанные с ней проблемы экологии и ресурсов. Научные, аналитические выводы о необходимости управления численностью населения и потребляемыми ресурсами были восприняты политиками в простой форме: либо человечество научится регулировать свою численность и потребности, либо это произойдет неконтролируемым путем при возникновении явлений типа всемирного голода, мировых войн или пандемий. Очевидно, что последний вариант развития событий не является желательным. Также очевидно, что предотвратить его можно только мерами глобальной политики. Разработка таких мер была поручена Комиссии ООН по устойчивому развитию, специально созданной по решению Генеральной Ассамблеи ООН. Итогом работы Комиссии стала уже упомянутая конференция Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро.

Политические шаги международного уровня были поддержаны и развиты на уровне отдельных стран. В частности, в России в 1994 г. вышел Указ Президента России «О разработке концепции перехода России на модель

устойчивого развития». Такая концепция была разработана Правительством России и в 1996 г. утверждена Указом «О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию». Указом 1996г. дается поручение Правительству Российской Федерации «... при разработке прогнозов и программ социально-экономического развития, подготовке нормативных правовых актов, принятии хозяйственных и иных решений учитывать положения Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию».

Таким образом, термин «устойчивое развитие» сегодня означает способ будущего существования человечества, формально принятый мировым сообществом. Этот способ официально признан отдельными странами, и в том числе Россией, в виде концепции устойчивого развития.

Однако сегодня специалистами признается, что концепции устойчивого развития пока нет. Есть определенные идеи, которые получили общее признание и зафиксированы в официальных политических решениях. Нет не только концепции, но даже и строгого общепринятого определения термина. И это не случайная недоработка при формировании понятийного аппарата. Основная сложность заключается в противоречии, заложенном в сочетании понятий «развитие» и «устойчивое».

Понятие «развитие» по отношению к социальным системам определяют как «необратимое, направленное, закономерное изменение, характеризующееся трансформацией качества, переходом к новым уровням организации». Одним из главных моментов в этом понятии, по крайней мере, в приложении его к социальным и биологическим системам, является внутренне присущая системе потребность к изменению состояния, которую можно рассматривать как потенциал, определяющий направление и характеристики процесса развития. Любое воздействие извне при этом можно рассматривать как возмущающий фактор, который отклоняет систему от ее собственной, присущей ей траектории развития.

Дополнение термина «развитие» определением «устойчивое» совершенно меняет понятие. На первый план при этом выходит момент, связанный с управлением. Для того чтобы система развивалась не по своим внутренне присущим законам, а «устойчиво», требуется управляющее воздействие, которое должно компенсировать инерцию и потребность системы к движению по собственной, присущей ей траектории и которое может заставить систему развиваться по заданной траектории (устойчиво). Если различия между этими траекториями велики, то встает вопрос: развитие ли это вообще? При этом управляющее воздействие, удерживающее систему на траектории «устойчивого» развития, становится непременным атрибутом, внутренне присущим новой системе (или системе с новым качеством), а именно системе, существующей в состоянии устойчивого развития. Переход в состояние устойчивого развития означает создание мощной подсистемы управления, которая постоянно будет удерживать систему на заданной траектории. Для того чтобы система с определенной, присущей ей собственной траекторией развития, перешла к устойчивому развитию, она должна трансформироваться в другую систему, обязательным элементом которой является мощная подсистема управления.

Таким образом, устойчивое развитие – это всегда управляемое развитие. Принятие концепции устойчивого развития означает не просто переход к различным энергосберегающим и ресурсосберегающим технологиям в мировых масштабах, но переход к другой, управляемой кем-то или чем-то цивилизации.

Из этого заключения сразу следует несколько вопросов:

- Кто будет управлять устойчивым развитием цивилизации?

- Как это управление будет осуществляться, с помощью каких технологий и приемов?

- Какие ресурсы будут использоваться при управлении и откуда они возьмутся?

Эти вопросы должны быть решены до начала практической реализации концепции. Одновременно придется решать проблемы политические, связанные с суверенитетом, и очевидные экономические проблемы. Однако если отнестись к проблеме устойчивого развития всерьез, то на первый план следует поставить не политические и экономические вопросы, а практическую задачу создания какой-то глобальной системы управления и чисто научную проблему формирования общих принципов управления развитием сложных самоорганизующихся систем.

К сожалению, теория сложных систем сегодня практически не разработана. Тем более не разработаны прикладные вопросы и, в частности, вопросы управления развитием таких систем. В таких ситуациях обычно обращаются к практическому опыту, накопленному для других аналогичных объектов. Хорошим аналогом цивилизации можно считать город. Город, как и цивилизация, является сложной самоорганизующейся системой, обладает определенным потенциалом развития и имеет определенные, но ограниченные ресурсы. Но главное в этой аналогии то, что имеется практический опыт управления развитием города.

Основываясь на этой качественной аналогии, в настоящей работе рассматривается опыт управления развитием города с тем, чтобы использовать полученные результаты для анализа концепции устойчивого развития и сформулировать общий для этих явлений подход к управлению процессом в том и другом случае. Материалом для анализа служит конкретный опыт, накопленный при организации управления развитием в городе Заречном Свердловской области, а также известный из литературы и из непосредственного общения опыт других преимущественно малых городов России. Использование Российского опыта для целей настоящего исследования оправдывается не только его большей доступностью по сравнению с зарубежным. Система управления развитием города в сегодняшней России проходит стадию формирования, когда особенности и недостатки технологий и приемов не приглажены традициями и поэтому легко могут быть выявлены. Еще более важно, что система управления развитием проходит стадию формирования, тогда как система управления развитием цивилизации только вступает в эту стадию.

2 Управление развитием города

Управление развитием города – это постоянно происходящий процесс, совершенно конкретная реальность, выражаемая в самых различных формах, и в том числе в конкретных управленческих решениях. Содержание этих решений во многом зависит от действующей в государстве системы управления. Во времена Советского Союза, когда действовала система управления мобилизационного типа, а вертикаль государственной власти доходила до каждого человека, управление развитием понималось единственным и самым прямым образом, как административное и директивное. Города, как и любые другие поселения, рождались, существовали и развивались по соответствующим решениям государства. Более того, город, и особенно малый, рассматривался как социальный цех предприятия, которое решало определенную

государственную задачу. Соответственно и город решал свою часть этой государственной задачи. Создание нового города было связано с созданием новых предприятий, необходимых для решения новых государственных задач. Развитие города также определялось перспективой развития предприятия. В этих условиях почти не учитывались внутренние потребности и тенденции к развитию города как социального организма, и в малой степени использовался собственный потенциал развития города. Тем не менее, действовавшая тогда система была логична, поскольку практически все материальные и организационные ресурсы были сосредоточены у государства. Государство не только выбирало путь развития города, но и полностью обеспечивало движение по этому пути. Эту схему управления развитием города можно назвать тоталитарно-государственной.

В настоящее время ситуация в России существенно изменилась. Конституция и законодательство о местном самоуправлении отделили муниципальную (местную) власть от государства, создав отдельную систему местного самоуправления. Другое революционное изменение, зафиксировано в самых фундаментальных законодательных актах: Конституции и Гражданском кодексе. Это отделение предприятий от государства, выполненное через приватизацию, акционирование и другие механизмы.

Сегодня на территории любого города имеется три главных участника социально-экономических процессов: местное сообщество, представляемое органами местного самоуправления; предприятие (предприятия); государство, представляемое региональными и федеральными органами власти. Каждый из этих участников имеет свои права, свои интересы и свои ресурсы. Государство сегодня обладает лишь частью ресурсов. Более того, право принятия решения по конкретным вопросам, связанным с реализацией конкретных проектов, определяющих развитие города, принадлежит вовсе не органам государственной власти, а непосредственно предприятию или непосредственно местной власти. Причем их компетенция и права охраняются законом и гарантируются самим государством.

В этих условиях государственная власть не может выполнить функцию управления развитием города. Тоталитарно-государственная модель, действовавшая в доперестроечной России, сегодня не действует. Старая система управления не соответствует реальности и практически разрушена, а новая пока не сформирована. Законодательством определено, что за перспективное социально-экономическое развитие муниципального образования отвечает местная власть (городская администрация), а за развитие области (субъекта федерации) отвечает государство в лице органов власти этой области. Однако при этом законом и сегодняшней практикой вовсе не решен вопрос о ресурсах, которые рассредоточены среди всех участников процесса, а единоличный субъект, принимающий конкретные и действенные решения по управлению развитием, отсутствует.

Отсутствие системы управления процессом развития вовсе не означает, что отсутствует сам процесс. Город как сложная, самоорганизующаяся система постоянно находится в развитии. Вопрос только в том, организованно ли это развитие осуществляется, и если да, то в чем заключается эта организованность.

Исторический опыт показывает, что развитие города может осуществляться в двух различных с точки зрения управления формах. Первая, которую можно назвать эволюционным развитием, не требует какого-либо специального управления. Город сам спонтанно меняется (развивается) под воздействием сочетания внешних условий и внутренних тенденций. Вторая форма, которую можно назвать инициированным развитием, осуществляется в случаях,

когда город должен изменить свое состояние по воле какого-либо субъекта, под воздействием изменений внешней среды или в результате накопившихся внутренних эволюционных изменений, требующих существенных (качественных) изменений. Главное в этой форме то, что она требует действий по управлению процессом. В чистом виде эти крайние формы встречаются достаточно редко. Обычно наблюдается сочетание эволюционных и инициированных процессов, которые трудно разделить в повседневной практике, но которые имеют различную природу с точки зрения развития: развитие как реализация внутренних свойств и развитие по чьей-то воле.

В этой связи процесс развития можно рассматривать как следствие взаимодействия внешней среды с внутренними, присущими данному городу тенденциями и интересами. При этом внешняя среда может включать внешнего субъекта, обладающего собственными интересами и намерениями (волей) по отношению к городу. Внутренние тенденции будут выражаться через собственные управляющие воздействия города, т.е. через «самоуправление». Всякое воздействие внешней среды в определенной мере влияет на процесс развития, однако в качестве управляющего целесообразно рассматривать только воздействие, имеющее главный атрибут управления - цель. Поэтому пассивное и случайное («бесцельное») воздействие на процесс развития можно не считать управляющим воздействием. Последнее утверждение справедливо для воздействий не только со стороны внешней среды, но и для внутренних (случайных и «бесцельных») воздействий.

Любое воздействие на систему всегда можно сопоставить со способностью системы сопротивляться этому воздействию. В простых механических системах такая способность определяется, например, инерцией. Более сложные биологические системы обладают свойствами перспективной активности или предадаптации, а сложные, саморегулирующиеся системы с интеллектом обладают свойством рефлексии (опережающего отражения). Величину этого сопротивления, не разбираясь в этом понятии более глубоко, будем называть мощностью системы, относящейся к тому виду воздействия, который вызвал или может вызвать реакцию системы. Такие механистические аналогии позволяют применить для описания процесса управления развитием синергетические представления, разработанные Хакеном и Пригожиным.

Сопоставляя мощность управляющего воздействия с мощностью системы, мы получаем три возможности: воздействие заведомо меньшее, чем мощность системы; воздействие сравнимое с мощностью системы; воздействие заведомо большее, чем мощность системы. Последний случай наиболее прост. Система полностью подчинена такому воздействию. Развитие её происходит в соответствии с целями, которые ставились при формировании управляющего воздействия. Варианты административного управления и, в том числе, вариант тоталитарно - государственного управления развитием города, действовавший до перестройки, соответствует именно этому случаю.

При слабом воздействии, заведомо меньшем, чем мощность системы, система сохраняет свое поведение (траекторию развития) с небольшими отклонениями от этой траектории. Используя синергетические представления можно сказать, что при этом система рассеивает (диссипирует) внешние воздействия с минимальными последствиями для себя. Для города это вариант естественного развития в условиях плавно изменяющейся окружающей среды.

В случае воздействия промежуточной мощности, сравнимой с мощностью системы, внешнее воздействие не может быть диссипировано без последствий. При этом система накапливает изменения, которые до определенного порога будут количественными, а затем приобретут качественный

характер. Точка, в которой система претерпевает преобразование по Хакену и Пригожину называется точкой бифуркации. Она соответствует положению неустойчивости на траектории развития системы. Эта неустойчивость означает, что любое сколь угодно малое воздействие на систему в этой точке может свалить систему в какое-либо из допустимых состояний. В результате система приобретает совершенно новую структуру, определяемую суммой факторов: внешним воздействием, внутренним состоянием и случайным воздействием случайных факторов в точке бифуркации. Новые структуры, созданные таким образом, это тоже продукт самоорганизации системы, но самоорганизации особой, произошедшей под воздействием внешней среды, которое было диссипировано системой. Специально для таких структур Пригожиным был введен термин «диссипативная структура».

3 Технологии управления развитием города

Решение практических проблем управления развитием города потребовало не просто понимания происходящих процессов, но и наличия соответствующих инструментов (технологий) влияния на эти процессы. Без таких технологий дело не доходит до практических управленческих решений, а остается в сфере идей и концепций. Нельзя сказать, что технологии управления развитием города хорошо отработаны. Однако уже сегодня в России накоплен богатый практический опыт такой деятельности. Кроме того, существует комплекс теоретических знаний и готовых технологий классического менеджмента, который широко используется в сфере городского управления. Весь этот богатейший капитал после критического рассмотрения и обоснований можно использовать для анализа концепции устойчивого развития и разработки, а точнее адаптации, технологий управления этим процессом.

Классическая теория управления построена для ситуации, в которой четко выделены основные участники процесса (объект управления и субъект управления) и основные элементы этого процесса (управляющее воздействие, обратная связь, контур управления). Если рассмотреть управление развитием города с позиций классической теории управления, то можно выделить несколько моментов, определяющих особенность этого процесса:

- явление развития происходит в сложной и самоорганизующейся системе, обладающей внутренне присущей способностью и стремлением к развитию;
- внутри системы имеется потребность управлять процессом развития;
- внутри системы или вне ее отсутствует субъект, который бы обладал ресурсами, достаточными для монопольного управления развитием системы.

Простое сопоставление этих моментов с классической теорией управления показывает, что её прямое использование для организации управления развитием города наталкивается на ряд проблем.

Первая – это проблема соотношения «объект-субъект» при самоуправлении в самоорганизующейся системе. Ситуация, принципиально невозможная в теории управления, когда объект (объекты) управления одновременно является субъектом (субъектами) управления, для города совершенно естественна.

Вторая – проблема дефицита управляющих ресурсов. Аксиома теории это наличие самой возможности оказывать управляющее воздействие. Для того чтобы получить результат, в распоряжении управляющего (субъекта управления) всегда должны иметься определенные ресурсы (материальные, финансовые, информационные) и права по управлению ими (управляющие ресурсы). Сегодня каждый из возможных субъектов управления развитием города в принципе не

имеет ресурсов ни обычных, ни организационных, достаточных для сильного воздействия, монопольно определяющего перспективу развития.

Третья – проблема порога прогноза, связанная с активностью самоорганизующейся системы. Результатом ее является непредсказуемость (или вероятностный характер прогноза) поведения системы при воздействиях. Дело здесь не столько в сложности города как системы, хотя и это, безусловно, имеет место, сколько именно в активности, способности к самоорганизации.

С учетом этих проблем некоторые эксперты предлагают считать, что управление городом (и вообще любое общественное управление) – это совершенно самостоятельная сфера теории менеджмента. В этой сфере действуют особые законы и, в частности, неприемлемы отношения субъект управления - объект управления. Соответственно ставится задача разработки новых принципов, используемых в общественном управлении. Более конструктивным представляется использование связей между классическим и общественным менеджментом с тем, чтобы весь аппарат классического менеджмента применить в государственном и муниципальном управлении. Теоретические и практические наработки по управлению развитием города, которые могут быть использованы в связи с проблемой устойчивого развития, изложены ниже в привязке к уже упомянутым ключевым проблемам.

Проблема «объект-субъект» при управлении развитием города.

Согласно классической теории управления, суть процесса управления заключается в том, что субъект управления оказывает определенное воздействие на объект управления, исходя из своих собственных целей. Практически всегда объект можно рассматривать как систему, на которую оказывается воздействие, и которая должна в результате изменить свое состояние. Субъект при этом является внешним к системе-объекту элементом. Он обладает определенной целью по отношению к управляемой системе-объекту и определенными связями с ней, позволяющими осуществлять управляющее воздействие.

Вспоминая приведенную выше минимальную систематику слабых, промежуточных и сильных воздействий изнутри и извне системы, легко понять, что классической схеме с четко выделенными субъектом и объектом соответствует только случай сильных внешних воздействий. Этот вариант полностью соответствует классической теории. Система в этом случае становится объектом управления, а для формирования алгоритма управления используется весь понятийный аппарат и все методические наработки теории управления и классического менеджмента (контур управления, управляющее воздействие, обратная связь, и т.п.). Для города это вариант тоталитарно - государственного управления развитием, богатый набором специфических, но отработанных веками и эффективных технологий.

Другой более распространенный вариант соответствует ситуации, когда управляющий развитием внешний субъект отсутствует, а идея (потребность, цель) развития рождается и существует внутри системы. В сегодняшних условиях России именно эта ситуация характерна для подавляющего большинства городов.

Теория управления не рассматривает такую ситуацию в принципе, поскольку идея управления без субъекта представляется принципиально нереализуемой, но, правда, с одним «но». Это «но» относится к случаю развития (адаптации) системы в существенно неравновесных условиях сильного изменения окружающей среды. При этом состоянии система может приближаться к состоянию катастрофы, и выход из этого состояния может «случиться» не в

результате внутреннего или внешнего управляющего воздействия, а просто случайно. Этот вариант близок к эволюционному, но отличается принципиальными изменениями состояния системы, то есть результатом. Очевидно, что этот вариант является весьма рискованным (велика вероятность катастрофы для системы) и совершенно не технологичным. Для города это хорошо всем знакомая ситуация опустившихся у руководства рук, когда очевидна необходимость изменений, но нет представления о том, какими должны быть эти изменения, и нет сил для каких-либо активных действий. Судьба города при этом определяется Судьбой, а точнее Случаем, которые никак нельзя отнести к субъектам управления.

Отказываясь от воли судьбы, теоретики и практики муниципального управления сформировали для ситуации отсутствия субъекта при наличии идеи развития два оригинальных технологических приема. Первый, условно именуемый вариантом с переходящим субъектом, заключается в том, чтобы модифицировать систему, выделив субъект управления каким либо искусственным приемом и, благодаря этому, опереться на имеющийся аппарат теории управления. Формально эта операция не противоречит положениям системологии и осуществляется простым действием. В системе, которая претерпевает развитие, выделяются две подсистемы. Одна - та, которая выполняет функции субъекта управления, другая – выполняет функции объекта. Теория управления в этой ситуации становится вполне применимой со всем ее понятийным аппаратом и набором приемов. Для города это выражается в том, что роль инициатора и руководителя в различных процессах или проектах играют различные участники, и эта роль может переходить от одного участника к другому по мере реализации конкретного проекта. При этом необходимо постоянно и тщательно контролировать корректность данного варианта выделения подсистемы - субъекта. Практически это означает, что в контур управления вводится дополнительная операция самоопределения субъекта и его целей.

Вторым приемом можно считать создание или использование виртуального субъекта управления. Роль такого субъекта для города может играть какой-либо нормативный документ, определяющий процесс развития, например программа социально-экономического развития. Программа не является настоящим субъектом управления, поскольку не обладает главным атрибутом субъекта – волей к чему-либо. Но в то же время программа имеет цели и, если она выполняется, то воздействие программы на процесс развития вполне можно рассматривать как управляющее. В этом случае уже для программы весь аппарат современного менеджмента становится применимым.

Проблема дефицита управляющих ресурсов.

Идея развития города существует в том или ином виде у всех, кто имеет отношение к городу как социально-экономической системе, у всех уже упоминавшихся участников процесса развития: местное сообщество, представляемое органами местного самоуправления; предприятие (или предприятия); государство, представляемое региональными и федеральными органами власти. Каждый из этих участников имеет собственную компетенцию, собственные ресурсы и собственное видение целей и путей развития. Но у каждого из них недостаточно ресурсов, чтобы единолично определить направление развития и обеспечить управление развитием. Это не просто дефицит, восполняемый при необходимости. Это принципиальная для города ситуация, поскольку все ресурсы распределены между основными участниками внутри системы (на территории города) и вне нее: ресурсы материальные (средства,

материалы, мощности), ресурсы кадровые и ресурсы управляющие (право распоряжаться материальными и кадровыми ресурсами).

Ситуация дефицита ресурсов, выявленная для случая города, является не исключительной, а типичной для любого процесса развития самоорганизующихся систем, поскольку основной ресурс такой системы расходуется на поддержание жизнедеятельности (существование) и только избытки - на развитие. Соответственно, соотношение между ресурсами, направленными на новации (развитие), и ресурсами, направленными на сохранение ситуации (консервативными), не может быть в принципе в пользу развития.

Сложнее ситуация с управляющими ресурсами. С одной стороны, наличие самой возможности принимать управленческие решения – это непременное условие управления. Случай, когда субъект управления ограничен в своих властных, управляющих полномочиях, представляется несоответствующим теории. С другой стороны, именно такие случаи - это обычная ситуация в технике и в теории управления. Традиционным выходом является увеличение управляющего ресурса через принятие специальных технических мероприятий, т.е. в увеличении возможностей (мощности) у субъекта управления. В качестве примера можно рассматривать, например, гидроусилитель руля в автомобиле, компьютерную АСУ на сложном производстве или предполагаемое использование искусственного интеллекта для управления социально-экономическими процессами страны или сообщества стран. Для города этот прием выражается в организационных мероприятиях, которые позволяют концентрировать управляющие ресурсы. Хороший пример - уже упоминавшаяся программа социально-экономического развития города, но только в том случае, если с помощью программы удается действительное объединение участников по поводу развития.

Принципиально другой вариант управления развитием в условиях дефицита управляющих ресурсов разработан на основе представлений о городе как самоорганизующейся системе, с использованием упоминавшихся выше представлений о диссипативных структурах. В этом случае можно выделить два подхода к управлению развитием города. Первый подход с использованием слабых управляющих воздействий применяется в тех случаях, когда цель развития соответствует тенденциям эволюции, т.е. точка цели лежит вблизи от собственной траектории развития города. Основным элементом в этом подходе является познание тенденций и особенностей поведения города как системы и следование им, сопровождаемое действиями по предотвращению нежелательных последствий различных флуктуаций внутри или вне системы.

Второй подход применяется для случая несовпадения целей развития и тенденций эволюции. В основе его - возможность эффективно повлиять на систему малым управляющим воздействием в точке бифуркации. Для этого выбирается момент, когда система под влиянием каких-либо воздействий перейдет в состояние бифуркации. На первый взгляд такое ожидание является крайне нетехнологичным и сводит на нет возможности практического применения этого подхода для управления развитием какой-либо реальной системы. Но только на первый взгляд. На самом деле потребность существенного (качественного) преобразования системы (именно такое получается в случае создания диссипативной структуры) возникает, как правило, там и тогда, где и когда воздействие окружающей среды существенно изменилось, и система уже не может отвечать этому воздействию без существенного изменения своей структуры. Пример такого состояния для города – упоминавшаяся выше ситуация опустившихся рук, когда судьба города в руках Судьбы, то есть случая. На самом деле, случаю всегда кто-либо помогает, осуществляя управляющее

воздействие весьма малыми ресурсами. Технология воздействия в состоянии неустойчивости, несмотря на риск неопределенности результата, широко использовалась и используется политиками, пусть не всегда осознанно, для управления изменения не только города, но и самых различных социальных систем.

Эти способы альтернативны, по сути. Первый сохраняет систему в состоянии, в котором она существовала ранее, допуская лишь небольшие изменения, естественные для этого состояния. Второй приводит к изменениям в структуре и состоянии системы, которые не естественны для исходных условий, но которые в определенной степени соответствуют новым условиям. Первый имеет вполне предсказуемые результаты, последний приводит к мало предсказуемым последствиям. Альтернативны эти подходы и по способу воздействия на систему. В первом используются слабые воздействия, направленные на сохранение траектории, против флуктуации, во втором – наоборот, для повышения степени управляющего воздействия необходимо инициировать и усиливать флуктуации, выводя систему из состояния равновесия.

Проблема порога прогноза

Условия дефицита, обсуждавшиеся в предыдущем разделе, выражаются не только в дефиците материальных, интеллектуальных и управляющих ресурсов. Особым дефицитом для сложных самоорганизующихся систем, находящихся в состоянии развития, является дефицит информации о состоянии и поведении системы, который определяется не только сложностью системы, но и ее активностью. Наличие собственных интересов и целей в сочетании с внешними воздействиями приводит к особым, трудно предсказуемым результатам. Простейшей механической иллюстрацией этой ситуации является равнодействующая нескольких разнонаправленных сил. Ее направление чаще всего не совпадает с направлением ни одной из действующих сил, а размер зависит не только и не столько от величины действующих сил, сколько от их взаимной ориентации. Еще более ярким примером неопределенности результата воздействия на сложную систему является поведение системы в точке бифуркации, которое упоминалось выше.

Таким образом, ко всем перечисленным выше проблемам управления развитием сложной самоорганизующейся системы добавляется еще одна. Это проблема управления в условиях дефицита информации о состоянии системы и в условиях неопределенности прогноза ее поведения. Подобная проблема также часто встречается в теории и практике управления. Для ее решения есть два очевидных пути. Первый – это увеличить информацию о системе, а в пределе добиться постоянного контроля параметров состояния, которые являются определяющими для процесса развития. Второй заключается в поиске способов управления, эффективно работающих в условиях дефицита информации и неопределенности прогнозов.

Первый путь связан с решением обычной научной задачи описания определенного объекта. Однако для описания сложной самоорганизующейся системы, каковой является город, определяющими становятся не вещественно-энергетические характеристики, как в простых механических системах, а структурно-поведенческие. Именно поэтому классическая научная методология в этом случае становится неэффективной, а в некоторых случаях даже неприемлемой.

Классический научный подход оказался чрезвычайно продуктивным при изучении простых систем, их вещественно-энергетических свойств. Но попытки применения этого подхода при работе со сложными самоорганизующимися системами не увенчались успехом, а во многих случаях

оказались невозможными по формальным причинам. Альтернативный подход родился и развился в последние 30-40 лет. Источниками его были теория управления, кибернетика, системный анализ. Соответственно в отечественной литературе этот подход называют системным подходом. Он основывается на теории сложных систем или системологии. Некоторые теоретические основы системологии уже имеются. В качестве примера можно назвать монографию Б.С.Флейшмана «Основы системологии», вышедшую в 1982 году.

В системологии теория не является единственной носительницей и объяснительного и предсказательного элементов в силу своеобразного принципа неопределенности. Чем адекватнее сложной системе ее теоретическая модель, тем выше ее предсказательные качества, но тем ниже ее объяснительные качества, поскольку модель по сложности близка к оригиналу. Предсказание в системологии возможно с помощью экспериментального метода на основе имитационного моделирования. Основной способ здесь – это розыгрыш различных ситуаций в ускоренном, по сравнению с реальным, темпе. Наиболее строго эта процедура осуществляется при машинном моделировании. Однако непреодолимое препятствие компьютерному методу прогноза состоит в слишком большом числе степеней свободы модельной системы, что делает невозможной работу с такой моделью на существующих машинах. Огрубление модели чревато чрезвычайными ошибками, поскольку отсутствует общее представление о системе, а значит и понимание того, какая деталь может быть исключена из рассмотрения, а какая нет.

В этих условиях важным элементом методологии исследования становится изучение поведения системы в условиях различных внешних воздействий и внутренних изменений, которые имеют место независимо от инициативы наблюдателя. Условно эту методологию можно назвать естественным экспериментом, основу которого составляет простое существование системы, ее функционирование, реакция на внешние «раздражения». Для использования этого эксперимента нужна система мониторинга, которая работает с учетом непланового, случайного характера событий (воздействий на систему).

Главное в исследовании сложных систем, это принципиальная невозможность их полного познания, обусловленная своеобразным принципом неопределенности. Чем глубже исследование такой системы, тем серьезнее изменения, которые вносятся самим фактом исследования. Любой прогноз, построенный на основе материалов такого исследования, носит качественный характер. Чем дальше по времени находится прогнозируемое состояние или чем выше требуемая точность прогноза, тем ниже вероятность их совпадения с реальностью. В результате для каждого состояния системы появляется определенный порог прогноза, далее которого любой прогноз становится бессмысленным с точки зрения практики, по крайней мере, для использования его в процессе управления.

В этой ситуации традиционные инструменты управления, связанные с точным планированием, становятся непригодными и на практике используются принципиально другие инструменты, основывающиеся на принципах самоорганизации. Аналогом такого инструмента можно считать использование заповедей различными религиями: «делай так... и не делай так..., и все будет хорошо». В качестве другого аналога можно привести пример генетически заложенных законов поведения животных. Эти правила не определяют конкретного сиюминутного поведения. Но они определяют рамки, в которых элемент системы развивается, не вступая в противоречие с тенденциями развития

самой системы.

Свойство самоорганизации, которое явилось основной причиной неопределенности прогноза, позволяет управлять процессом развития системы, не вмешиваясь в детали, зачастую не представляя механизмов происходящего и не имея гарантированного прогноза. Идеология такого управления в том, чтобы система осознала цели управления как собственные и начала сама управлять процессом, используя собственные материальные и управленческие ресурсы. Для города это означает, что кто-то осознал себя субъектом управления по отношению к процессу управления развитием города, и добился, чтобы цели, которых он хочет достигнуть, совпали с целями города как социально-экономической системы. Если цели совпали, то реализуется вариант слабого воздействия. Если цели не совпали, то нужно сильное воздействие. При наличии достаточных ресурсов реализуется вариант аналогичный тоталитарно-государственному. При недостатке ресурсов единственным вариантом остается воздействие в точке бифуркации.

Очевидно, что для города и для его жителей это принципиально различные варианты. Первый вариант (совпадение естественного пути города и целей управляющего) означает нормальное и привычное существование с постепенным улучшением различных социальных параметров. Результат здесь полностью предсказуем, а процесс детально планируется. Второй (монопольного управления) – хорошо знаком из доперестроечных времен, имеет свои положительные и отрицательные следствия. Третий (воздействие в точке бифуркации) – означает рискованную перестройку, которая может коснуться практически любого аспекта городского устройства, но результаты которой принципиально непредсказуемы. При всей очевидности результата сравнения этих вариантов, в условиях кризиса и стагнации третий вариант может оказаться единственно приемлемым. Сохранение существующих тенденций и состояния в этих условиях гарантирует экономическую, а затем и моральную гибель города, в то время как переориентация целей развития города, принципиальное изменение структуры управления может с определенной вероятностью привести его к успеху и процветанию. Примеры сознательного использования этого варианта уже имеются.

4 Устойчивое развитие цивилизации

Используя уже обсуждавшуюся аналогию цивилизации и города как сложных социально-экономических систем, можно попытаться применить для цивилизации выводы, полученные для города. При этом первый вопрос, который следует решить, это вопрос о внутренне присущих тенденциях (траектории) развития цивилизации. Соответствует ли она варианту устойчивого развития? Точного и определенного ответа на этот вопрос видимо нет. Тенденции развития глобального гомеостаза, о которых можно говорить, опираясь на палеоботанику, палеобиологию, археологию и историю, весьма противоречивы. Но для нас важно, что существует множество доказательств нелинейного развития, сопровождающегося периодами катастроф и кризисов. Это характерно для развития биологических видов и тем более характерно для социальной истории человечества. Собственно история есть описание постоянных переходов из одного кризиса к другому. Современная история не является исключением. Обозримый опыт существования человеческого сообщества показывает, что равномерное, устойчивое развитие совершенно не характерно не только для глобального гомеостаза, но и для цивилизации, как его составляющей. Исторический опыт свидетельствует в пользу того, что состояние устойчивого развития не является внутренне присущим, естественным для нашей цивилизации.

Если это так, то спонтанный переход системы от сегодняшнего (и ранее существовавшего) состояния в состояние устойчивого развития маловероятен.

Пользуясь представлениями системологии, можно считать, что факт формирования концепции устойчивого развития означает наличие определенной внутренней силы, появившейся в результате самоорганизации внутри системы, и воздействующей на систему с целью ее перехода в новое состояние – состояние устойчивого развития. Обращаясь к аналогии с развитием города, эта ситуация соответствует случаю, когда цель управления не совпадает с траекторией естественного развития системы, и для изменения состояния системы в соответствии с поставленной целью требуется управляющее воздействие.

В этом случае все рассуждения и выводы, сформулированные на основе опыта управления развитием города, справедливы для цивилизации. Остается рассмотреть эти выводы точно также, как это было сделано в предыдущем разделе, обращая внимание на те же проблемы, что были выделены для города. Результатом этого рассмотрения будет оценка технологий, применяемых для управления городом, с точки зрения возможности их использования при реализации концепции устойчивого развития цивилизации.

Проблема «объект-субъект» в концепции устойчивого развития цивилизации.

Очевидно, что в случае цивилизации по определению отсутствует внешняя сила или внешний субъект, обладающий волей и целью изменить систему, заставить ее развиваться устойчиво. Если конечно не рассматривать вариант появления и воздействия какой-то всевышней силы. Но и в этом случае задача разработки технологии управления не стоит, по крайней мере, для нас.

Поэтому остаются реальными только варианты с формированием субъектов управления внутри системы. Технологии, разработанные для города, здесь вполне приемлемы. Во-первых, это схема со смещенным субъектом. Роль такого смещенного субъекта по отношению к устойчивому развитию уже сейчас выполняет комиссия ООН. Второй, отработанный для города вариант, это создание виртуального субъекта управлением. После того, как идея устойчивого развития реализовалась в политических документах международного уровня и на уровне государств, роль такого виртуального субъекта управления заняли эти документы. Субъекта специфического, примером которого для города была программа развития.

Проблема дефицита управляющих ресурсов.

Схема управления со смещенным или виртуальным субъектом относится к варианту слабых воздействий. Управляющее воздействие в этой схеме осуществляется на уровне международных деклараций и решений, как правило не имеющих обязательной силы для всех участников процесса. Очевидно, что субъекты управления, которые сегодня можно выделить хотя бы условно (комиссия ООН, политические документы международного и государственного уровня), не обладают достаточными управляющими ресурсами для быстрого и заметного в планетарных масштабах эффекта. Можно возразить, что политическая значимость и звучание проблем устойчивого развития высока уже сегодня, и привести в доказательство перечень государств, принявших концепцию в качестве государственного документа. Однако результат этих действий совершенно неочевиден на последующих стадиях, когда потребуется переход от деклараций к конкретным решениям, затрагивающим конкретные интересы конкретных государств, корпораций и конкретных социальных групп. Ограничения в производстве или в потреблении с потерей экономического эффекта, отказ от

части прибыли, добровольное увеличение затрат, не приводящих к прибыли – все это будет встречать тем большее сопротивление, чем большие потери предполагает такое решение. Очевидно, что такому сопротивлению системы необходимо противопоставлять достаточный управленческий ресурс, несводимый к декларациям.

В этом отношении цивилизацией накоплен определенный опыт совместных действий. Общественное мнение, инициированное научными кругами и подкрепленное информацией о потенциальных потерях и рисках для конкретных государств, приобретает форму общемировых нормативов и внедряется практически директивными решениями международных организаций. Такие общественные решения подкрепляются управляющими ресурсами международного капитала. Примеры таких решений – это ограничения на использование фреона, запреты или ограничения на потребление определенных биоресурсов (лов рыбы), ограничения на выбросы парниковых газов.

Тем не менее, приходится признать, что режим слабого воздействия требует длительного времени для достижения результата. Этого времени может не хватить, поскольку существующие тенденции развития цивилизации, экстенсивного по своей природе, доказывают высокую вероятность быстрого исчерпания ресурсов, обеспечивающих не только развитие, но и само существование системы. В этом случае система попадает в режим резкого изменения внешних условий, связанных с катастрофической нехваткой ресурсов. Режим, которому структура управления, включающая сложившуюся систему отношений и ценностей, не соответствует. Подобная ситуация для города рассмотрена как управление без субъекта. Это вариант попадания в точку бифуркации, чреватый непредсказуемым риском катастрофы. Но именно благодаря наличию бифуркации в этой ситуации становится возможным управление малыми ресурсами, то есть рискованный вариант, когда сохранение существующего состояния гарантирует катастрофу, а подталкивание системы в новое состояние чревато непредсказуемыми последствиями, среди которых имеется вероятность благополучного исхода.

Проблема порога прогноза.

Из сказанного по этой проблеме для города следует два важнейших вывода, которые полностью справедливы для цивилизации: о необходимости изучения тенденций развития социальной системы, как наиболее важной составляющей, и о необходимости междисциплинарных подходов, с помощью которых только и можно уловить тенденции развития сложной системы. Важным и эффективным (а может быть и незаменимым) приемом является использование модельных систем. При этом модельная система должна быть проще оригинала, более изученной и, главное, более быстродействующей, что необходимо для целей прогноза. Представляется, что для целей изучения проблемы устойчивого развития эффективной моделью может быть город, при описании которого вводится дополнительное ограничение на контакты с окружающей средой.

Заключение

Простейший опыт сопоставления однотипных систем города и цивилизации дает основания для грубого, «рамочного» прогноза. Сочетание таких факторов, как естественная тенденция развития цивилизации и принципиальное отсутствие монопольного субъекта управления, приводит к выводу, что наиболее вероятным следует считать режим бифуркации с последующим случайным переходом в какое-либо подходящее для внешних и внутренних условий состояние, которое совершенно не обязательно будет состоянием устойчивого развития. Этот вариант наиболее естественен для природы, судя по тому, что мы знаем о развитии биологических систем. По сути, это испытанный эволюцией режим периодических катастроф для отдельных систем биоценоза. Однако в условиях доминирования социальной сферы эта естественность уже не может служить достаточной моделью развития цивилизации как системы, обладающей свойством преадаптации и рефлексии. Аналогия с городом позволяет предполагать более вероятными два других варианта развития цивилизации.

Первый связан с концентрацией власти и созданием (переходом) к полностью управляемой цивилизации по схеме аналогичной тоталитарно-государственному управлению развитием города. Субъектом управления для такого варианта могут быть уже существующие государства или группы государств, объединенные формально на этнической, религиозной или любой иной основе и принявшие решение о всемирном лидерстве и их исключительной ответственности перед потомками за судьбу цивилизации. Мотивом, внешним или внутренним, для такого решения может быть осознание реальности возможной катастрофы и принятие волевого решения избежать ее пусть и за счет некоторого ущемления интересов других (государств, наций, религий).

Второй вариант не менее вероятен и связан с другой наблюдаемой тенденцией к демократизации, к возможности объединения усилий через создание наднациональных органов, принимающих решения с учетом интересов всех народов и стран.

Но самое главное, что следует из аналогии с городом, это вывод о неизбежности управления развитием цивилизации, и о том, что прогноз формы этого управления, ее структуры невозможен.

ОЦЕНКА ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ГОМЕОСТАЗА СИСТЕМЫ ГЕМОПОЭЗА ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ РАДИАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Д.З. Шибкова, О.Г. Андреева, В.Л.Шведов, А.В.Аклеев

Уральский научно-практический центр радиационной медицины, кафедра анатомии,физиологии и валеологии Челябинского государственного педагогического университета, г.Челябинск

Фундаментальной проблемой биологической науки до настоящего времени остается исследование механизмов адаптационных реакций, протекающих в организме человека и животных в ответ на действие раздражителей различной природы и интенсивности. Актуальность данной проблемы обусловлена необходимостью разграничения ответных реакций систем организма на действие факторов на адаптационно-компенсаторные и патологические, что является основой для разработки адекватных методов профилактики, коррекции и лечения патологических состояний человека.

Живой организм, будучи ультрастабильной системой, осуществляет активный поиск оптимального и наиболее устойчивого состояния, что выражается в адаптации. При изменении условий окружающей среды в организме включаются реакции, обеспечивающие поддержание стационарного состояния, выработку или сохранение оптимальных форм взаимодействия организма и среды в новых условиях его существования. При этом гомеостаз предполагает поддержание не только пластического, энергетического и структурного равновесия, но и равновесие информационных процессов [1].

А.М.Уголев [2] выделяет два обязательных взаимосвязанных компонента гомеостаза: гомеоморфоз - поддержание структурных констант и гомеорезис - поддержание функциональных констант скоростей процесса. Согласно [2] гомеостатирование структуры осуществляется с помощью механизмов, общих не только для поддержания определенного уровня деятельности, но и для поддержания оптимального соотношения структуры и функции.

Принято считать, что сохранение гомеостаза при действии на организм каких-либо экстремальных факторов среды свидетельствует о его адаптации к ним, с чем, с позиции эволюционной теории, вряд ли можно согласиться. Возможны ли эволюция животных и их адаптация к меняющимся условиям среды, если вся деятельность организма направлена только на поддержание гомеостаза [3]?

Как подчеркивал П. К. Анохин [4], каждый организм представляет собой динамическое сочетание устойчивости и изменчивости, в котором последняя служит его адаптивным реакциям и, следовательно, защите его наследственно закрепленных жизненно важных констант. Он различал три категории физиологических констант: а) жесткие, диапазон которых между уровнем константного состояния и предельным отклонением, несовместимым с жизнью, очень узок; б) с менее жестким диапазоном, имеющие определенное адаптивное значение для других функций; в) пластические, с достаточно широким диапазоном изменчивости. При развитии этих положений К. В. Судаков [5] показал, что постоянство распространяется лишь на ограниченную часть наиболее значимых физиологических показателей, причем лишь в определенной области организма.

На наш взгляд наиболее полно содержание понятия «гомеостаз» отражено

в [6], гомеостаз(ис) - состояние динамического подвижного равновесия природной системы, поддерживаемое сложными приспособительными реакциями, регулярным возобновлением основных ее структур, вещественно-энергетического состава и внутренних свойств, а также постоянной функциональной саморегуляцией во всех ее звеньях.

С точки зрения современной науки, организм человека как любая биологическая система относится к диссипативным системам [7], поэтому он подчиняется принципу наименьшей диссипации энергии, который гласит, что в устойчивом состоянии любой термодинамической системы скорость диссипации энергии в ней минимальна. Диссипативная открытая система - это система, в которую поступает энергия, превращающаяся в тепло. Диссипация в такой системе обусловлена тепловыми флуктуациями, которые в основном определяют скорость реакций в водной среде организма. Как диссипативная система организм включает в себя все типы процессов самоорганизации: колебательные процессы, пространственную организацию, пространственное структурирование [8].

В стационарном неравновесном состоянии производство энтропии имеет минимальное значение, следовательно, развитие термодинамических открытых систем происходит вне равновесного состояния и поддерживается потоками энергии.

По современным представлениям гомеостаз связан не только с поддержанием относительного постоянства внутренней среды, но также с реализацией адаптивного потенциала при нарушении функций организма в ответ на действие факторов среды [3]. При этом в организме возникает комплекс последовательно индуцирующих друг друга реакций, обуславливающих в целом определенную их связь и взаимную зависимость. Способность организма поддерживать гомеостаз в условиях, непрерывно меняющихся внешних воздействий обозначают такими понятиями как адаптация и компенсация.

Термин «адаптация» используется для обозначения, во-первых, процесса, при котором организм приспосабливается к новой среде, во-вторых, относительного соответствия, которое устанавливается между организмом и средой, и, в-третьих, результата эволюционного процесса адаптациогенеза [9]. Наиболее распространенным в биологии можно считать определение адаптации сформулированное Н.В. Тимофеевым-Ресовским и др. [10] «Адаптации являются постоянно возникающими, изменяющимися, совершенствующимися и иногда исчезающими эволюционными приспособлениями организма в среде в самом широком понимании».

Физиологическое содержание адаптации - это эффективная и экономная, адекватная приспособительная деятельность организма к воздействию факторов внешней среды. В адаптации можно выделить две противоборствующие тенденции: с одной стороны, отчетливые изменения, затрагивающие в той или иной мере все системы организма, с другой - сохранение гомеостаза, перевод организма на новый уровень функционирования, при непременном условии - сохранении динамического равновесия [11] .

Границы адаптации довольно подвижны, если речь идет о приспособлении к факторам внешней среды или нагрузкам, не вызывающим несовместимых с жизнью изменений. Адаптация к субэкстремальным факторам осуществляется за счет использования резервных возможностей организма (физиологических, биохимических, морфологических перестроек на уровне клетки, ткани, систем органов). Комплекс этих изменений получил в 30-х годах название общего адаптационного синдрома (ОАС). Термин предложен Г.Селье и означает совокупность неспецифических изменений, возникающих в организме животного

или человека при действии любого чрезвычайного раздражителя [12,13].

Развитие представлений о динамической структуре адаптации дано в концепции П. К. Анохина [4] об опережающем отражении действительности. В соответствии с этой концепцией можно предполагать, что факторы среды обусловливают формирование в высших регуляторных центрах не только опережающей стратегии поведения, но и оценку вероятных морфофункциональных и энергетических изменений в организме. Именно последнее и является важным фактором в выборе дальнейшей динамики адаптации биосистемы, которая таким способом опережающе отражает не только возможные варианты поведенческих реакций, но и вероятную меру морфофункциональной «платы» за их реализацию.

В свете работ П.К. Анохина о функциональных системах и принципе опережающего отражения есть основание считать, что в любом случае острого или хронического напряжения (стресса) организм формирует долгосрочный прогноз и в случае невозможности сохранить в полном размере уровни функционирования, соответствующие здоровью, в условиях действия неблагоприятных факторов выбирает поведение, минимизирующее функции, тоесть ограничение тех или иных функциональных обменно-трофических процессов. Это организованная, заранее прогнозируемая адаптивная реакция («адаптация через болезнь» по И.В. Давыдовскому), которую следует отличать от действительных поломов адаптации вследствие нарушений в функционировании систем управления, полома гомеостатических механизмов то есть явлений, ведущих к срыву адаптации и возникновению патологии [14].

Однако проблема стресса и адаптационных реакций в приложении к действию ионизирующего излучения осложняется тем, что ионизирующее излучение рассматривают как абиогенный фактор, так как он является бессенсорным раздражителем. Б.Н. Ильин [15] считает, что не следует называть адаптацией реакции на последствия воздействия тех факторов среды, которые не имеют в организме рецепторов, и тех, которые действуют деструктивно на любом структурном уровне организма. Рассматривая определения понятия “адаптация” и его использование в биологии и медицине, вышеупомянутый автор предлагает под адаптацией понимать только такое приспособление, которое не заканчивается патологическими последствиями, т.е. речь идет о физиологической адаптации. Под физиологической адаптацией подразумевается “совокупность физиологических реакций, направленных на приспособление организма к изменению окружающих условий и сохранение гомеостаза [16].

Однако, все живые организмы, как и их системы, адаптированы к действию ионизирующей радиации в пределах эволюционно сформировавшейся нормы реакции [17, 18]. Ю.К. Кудрицкий, А.Б. Георгиевский и В.И. Карпов [19] предложили классификацию адаптивных состояний, которые возникают в связи с воздействием уровней ионизирующего излучения, превышающих естественный радиационный фон, выделив и охарактеризовав ряд качественно отличающихся друг от друга диапазонов адаптации. В частности:

1) диапазон оптимальной адаптации - для которого характерно полное соответствие между морфофункциональными возможностями организма и условиями существования на основе гомеостаза;

2) диапазон напряженной адаптации - обратимое состояние, при котором развивающиеся реакции и процессы находятся в пределах физиологической регуляции функций в результате включения компенсирующих механизмов, но которое может разрешиться как в сторону достижения оптимальной формы, так и переходом в состояние ограниченной адаптации;

3) диапазон ограниченной адаптации - отличается значительным снижением адаптационных возможностей организма ведущим к развитию преморбидных и даже патологических состояний;

4) срыв адаптации - возникает при тяжелой патологии особенно в ее терминальной стадии.

Развивая свои взгляды на адаптацию к воздействию ионизирующего излучения Ю.К.Кудрицкий, А.Б. Георгиевский и В.И. Карпов [17-19] аргументируют актуальность смены в радиобиологии, как они считают, устаревшей парадигмы - линейно-беспороговой концепции на предлагаемую ими адаптационную теорию биологической эффективности ионизирующего излучения. В наиболее общем виде их аргументация актуальности смены парадигмы сводится к тому, что линейно-беспороговая концепция, возникшая в результате необходимости прагматического решения вопросов радиационной безопасности при недостатке научной информации о биологической эффективности низких уровней ионизирующего излучения, стала в настоящее время барьерам между теоретической биологией и развивающейся теоретический радиобиологией. Она исключает из рассмотрения основную биологическую зависимость качества реакции организма в интегрированном ее виде от уровня воздействия, вследствие присущего методологического недостатка - кондиционализма. Последний заключается в условности допущения линейно-беспороговой зависимости и произвольной экстраполяции закономерностей, характерных для патогенных лучевых воздействий на область влияния низких уровней ионизирующего излучения [20].

Позитивное начало адаптационной гипотезы биологической эффективности состоит в том, что она делает возможной индивидуализацию радиационного воздействия в том смысле, что изначально предполагает индивидуальный подход к оценке реальных последствий этого воздействия на здоровье, отталкиваясь не от дозы, а от живого объекта с его гено- и фенотипическими характеристиками.

В то же время линейно-беспороговая и адаптационная гипотезы не противоречат друг другу, так как они описывают разные классы явлений и разные уровни адаптации: линейно-беспороговая - генетический (или молекулярно-клеточный), адаптационная системно-организменный. Необходимо лишь помнить один из основных постулатов системного подхода к изучаемым явлениям, который исключает возможность переноса закономерностей одного системного уровня на другой [20].

Одной из частных разновидностей адаптационных реакций являются компенсаторные процессы, которые реализуются на внутриклеточном, внутриорганном, внутрисистемном, межсистемном уровнях. Компенсаторными процессами принято считать совокупность реакций организма на повреждение, выражающихся в возмещении нарушенных функций организма за счет деятельности неповрежденных систем, отдельных органов или их составных частей.

В развитии компенсаторного процесса можно выделить четыре стадии [21]:

1 Стадия срочной компенсации характеризуется формированием и гиперфункцией компенсирующей функциональной системы и выраженным стресс-синдромом. Если стадия срочной компенсации не ликвидирует функциональный дефект, вызванный повреждением и нарушения гомеостаза сохраняются, компенсаторный процесс продолжает развиваться.

2 Переходная стадия от срочной компенсации к долговременной характеризуется началом формирования системного структурного следа. Функциональный дефект уменьшается и, как следствие, уменьшается стресс-

синдром.

3 Стадия устойчивой долговременной компенсации характеризуется ликвидацией или значительным уменьшением функционального дефекта. Стресс-синдром отсутствует. Длительность этой стадии может соответствовать видовой продолжительности жизни.

4 Стадия истощения и функциональной недостаточности развивается в случаях большого функционального дефекта и чрезмерной гиперфункции и гипертрофии компенсирующих систем, либо в результате дополнительных повреждений организма. Реализация стадии истощения означает переход компенсации в декомпенсацию.

Таким образом, компенсаторный процесс является одним из приспособительных механизмов поврежденного организма и определенным образом отличается от адаптационных реакций организма здорового. Однако отличия эти не принципиальны, так как общую основу всех долговременных адаптационных реакций составляют структурные изменения, которые можно рассматривать как компенсаторные.

К одному классу биологических явлений относят [22] компенсаторные и приспособительные реакции, считая что; и те и другие протекают непрерывно с момента рождения и до смерти. В связи с чем, обоснованно говорить о компенсаторно-приспособительных реакциях организма. В основе структурного обеспечения разнообразия этих реакций лежат следующие принципы:

1 Непрерывность варьирования числа активно функционирующих структур в соответствии с меняющимися условиями окружающей среды и требованиями, предъявленными к данному органу со стороны всего организма (мобилизация имеющихся ресурсов).

2 При более или менее длительной функциональной нагрузке происходит гиперплазия и/или гипертрофия клеток, количественно соответствующая уровню возросшей нагрузки.

Названные принципы структурного обеспечения гомеостаза относятся к количественным. Однако существует множество факторов внешней среды (возрастающее число антигенов с которым контактирует организм, химических токсических веществ, облучения ионизирующей и неионизирующей природы), для нейтрализации действия которых мало количественных изменений и требуются иные ответные реакции организма, которые представляют собой качественную перестройку систем организма.

Перестройки, развертывающиеся на молекулярном уровне, заключаются в рекомбинантных преобразованиях структур при неизменной количественной характеристике. На основе перегруппировок в генетическом аппарате возникают спонтанные и индуцированные хромосомные мутации. Таким образом, есть основания говорить о рекомбинационных преобразованиях как о важном механизме адаптивных реакций организмов [22]. Единицей рекомбинации служит рекон - наименьший структурный элемент гена функционирующий как единое целое [6]. Структурное обеспечение гомеостаза обусловлено также высокой способностью биологических структур к временной синхронизации между началом действия раздражителя и развертыванием компенсаторно-приспособительных реакций, и в широчайшем дублировании физиологических функций, что обеспечивает неизмеримо большую возможность для их сохранения и восстановления, в случае действия патогенных факторов.

На основе вышеизложенного можно заключить, что компенсаторно-приспособительные реакции, обеспечивающие гомеостаз в условиях воздействия

на организм экстремальных факторов, представляют собой разнообразные комбинации его физиологических функций, развертывающихся на той же, что и при норме структурной основе.

Любое конкретное проявление гомеостаза, являясь одним из элементов фенотипа, находится под генетическим контролем, поскольку как фенотип в целом, так и составляющие его элементы, есть продукты реализации наследственной информации при определенных условиях среды [23]. Видимо, чем шире наследственная норма реакции, тем больше способность организма поддерживать гомеостаз, тем меньше возможность развития болезней. Чем жестче и уже норма реакции, тем шире фенотипическая дисперсия и выше чувствительность к факторам среды, а также возможность развития патологии.

На изменения в среде организм отвечает реакциями, обеспечивающими сохранение тех специфических особенностей гомеостаза, которыми он характеризуется в соответствующем возрастном периоде. В случае, когда соответствующее изменение в среде приобретает устойчиво-длительный характер, реакции обеспечивающие сохранение текущего состояния гомеостаза, противоречиво сочетаются с преобразованиями, адекватно отвечающими измененной среде [24]. При этом основополагающими принципами жизнедеятельности биологических систем являются принцип порогового раздражения, закон исходного уровня, принцип многоканальной передачи и обработки информации и др. [25].

Принцип порогового раздражения указывает на необходимость суммарного воздействия раздражающего фактора на биологическую систему, которое должно превышать пороговое значение. По мнению [26] нарушение порога чувствительности центральной регуляторной структуры гомеостаза - гипоталамуса, является одной из центральных причин возникновения патологических процессов в организме.

Закон исходного уровня (правило Вильдера) заключается в следующем: в случае, если исходный уровень исследуемого показателя соответствует нижней границе нормы, ответная реакция состоит в его повышении до средних величин; если он близко к верхней границе нормы - реакция состоит в его снижении; если входит в диапазон средних величин - реакция почти отсутствует [27,28].

Исходя из принципа обратной связи, следует, что положительные обратные связи понижают стабильность системы, но могут служить для усиления циркулирующих сигналов [29]. Отрицательные обратные связи, как правило, стабилизируют системы, т. е. приводят их к более устойчивым состояниям, но при этом понижают силу циркулирующих сигналов. В здоровом организме отрицательная обратная связь встречается гораздо чаще, чем положительная, что свидетельствует о хорошей устойчивости гомеостаза и способности возвращаться к стабильному состоянию после прекращения того или иного воздействия. Положительная, обратная связь часто встречается при патологии (инверсия связи), в этом случае происходит изменение в отношении «причина - следствие» и «следствие» усугубляет течение процесса [25].

К системе гемопоэза, структурную основу которой (ее гомеоморфоз) составляет костный мозг и комплекс центральных и периферийных лимфоидных органов, с многочисленными и сложно взаимодействующими популяциями клеток, приложимы все выше перечисленные принципы. Наиболее важная роль в поддержании баланса организма с различными факторами среды принадлежит системам клеточного обновления (СКО) (см. схему 1).

Системы клеточного обновления - это определенные ряды, в которых потери

клеток, вызванные гибелью или миграцией, количественно балансируются путем продукции новых элементов. Подобные системы должны иметь самоподдерживающийся пул недифференцированных прекурсоров (пул стволовых клеток). Возможность организма млекопитающих к адаптации связана с регуляторными способностями систем клеточного обновления. Потеря крови, гипоксия или длительное воздействие ионизирующих излучений приводят к изменению скорости клеточной продукции, при этом важную роль играют механизмы обратной связи, определяющие величину того или иного клеточного пула, нервные регуляторные механизмы или гормональные влияния [30]. Детали подобных адаптационных механизмов до настоящего времени полностью не изучены.

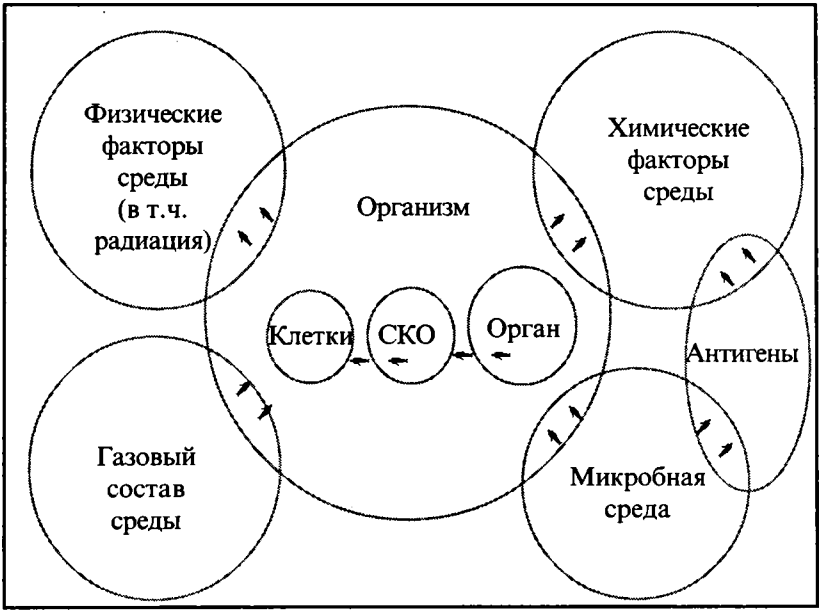
Между процессом поглощения энергии веществом и реакцией сложных биологических систем на облучение проходит довольно сложный путь физических и физико-химических преобразований. Основные этапы и их продолжительность иллюстрируются схемой № 2 [31].

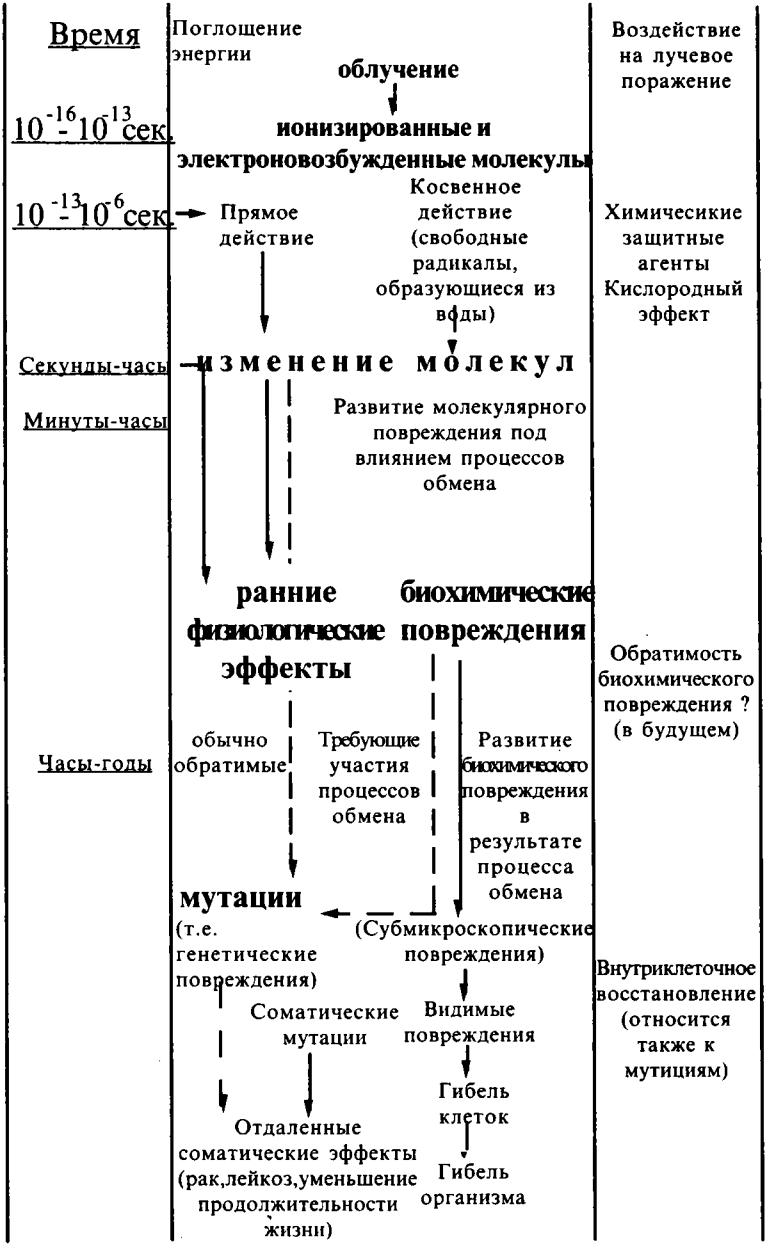
По мнению А.К.Гуськовой и Г.Д.Байсоголов [32] в представленной схеме третий этап (действие изменений на физиологическом уровне) отражен лишь частично - в виде системы связей, указывающих на возможность перехода от первоначальных биохимических повреждений к субмикроскопическим или видимым повреждениям клеток вплоть до гибели организма или возникновении отдельных заболеваний и пороков развития у потомков облученных индивидуумов. Как считают авторы, указанный механизм не может быть признан единственным в возникновении всего сложного комплекса пострадиационных изменений, развивающихся в живом организме. Его следует дополнить представлениями о втором неспецифическом механизме реакции на облучение как на раздражитель. Как общее, так и местное облучение ограниченного участка тела, структуры органа с учетом двух указанных выше механизмов вызывает, в зависимости от величины дозы (в данном случае суммарной) два класса биологических явлений. Первый из них отражает наиболее специфическое в действии излучений на организм - его влияние на молекулярный и клеточный уровень физиологической регенерации тканей; второй - неспецифический ответ на облучение, как на адекватный раздражитель ряда систем, обладающих свойством возбудимости.

При всех отличиях адаптивных ответов на действие различных факторов среды все они строятся на единой неспецифической основе, что отражено в таких классических теориях как «парабиоз» Н. Е. Введенского и «паранекроз» Д. Н. Насонова и В.Я.Александрова. Впервые стереотипный, неспецифический характер реакции нервно-мышечного препарата на действие самых разнообразных раздражителей Н. Е. Введенский описал в 1901 г. Эта реакция была названа парабиотической, неспецифический характер ее в чисто физиологическом выражении достигается через различные физико-химические механизмы, специфические в зависимости от качественных особенностей действующего раздражителя. Парабиотическая реакция, а именно ее первая фаза, представляет собой гомеостатическую реакцию на тканевом или клеточном уровне.

Стереотипный ответ организма на действие разнообразных раздражений, как указано выше описал Г. Селье [12,13]. Реакция стресса была оценена как гомеостатическая реакция на уровне целостного организма. Согласно учению Г. Селье реакция животного организма на действие стресса в так называемом общем адаптационном синдроме (ОАС) включает три фазы, многократно описанные при анализе воздействия факторов различной природы на организм человека и животных [33-37]. Развитие теории ОАС привело к представлению о наличии двух разделенных во времени стадий адаптации - срочной и долговременной [21,36].

Внешние факторы
Внутренние факторы
Генетические свойства
Индивидуальное развитие


Физические факторы среды (в т.ч. радиация)
Организм
Химические факторы среды
Клетки
СКО
Орган
Антигены
Газовый состав среды
Микробная среда


Время
Поглощение энергии
облучение
Воздействие на лучевое поражение
10^{-16}-10^{-13}сек.
ионизированные и электроновозбужденные молекулы
10^{-13}-10^{-6}сек.
Прямое действие
Косвенное действие (свободные радикалы, образующиеся из воды)
Химичесикие защитные агенты Кислородный эффект
Секунды-часы
изменение молекул
Минуты-часы
Развитие молекулярного повреждения под влиянием процессов обмена
ранние физиологические эффекты
биохимические повреждения
Обратимость биохимического повреждения ? (в будущем)
Часы-годы
обычно обратимые
Требующие участия процессов обмена
Развитие биохимического повреждения в результате процесса обмена
мутации
(т.е. генетические повреждения)
(Субмикроскопические повреждения)
Внутриклеточное восстановление (относится также к мутициям)
Соматические мутации
Видимые повреждения
Гибель клеток
Отдаленные соматические эффекты (рак,лейкоз,уменьшение продолжительности жизни)
Гибель организма

Срочный этап адаптационной реакции реализуется на основе готовых, ранее сформировавшихся механизмов, но является несовершенным. Долговременная адаптация развивается постепенно, при длительном или многократном действии стрессора. По мнению Ф. З. Меерсона, этот этап развивается на основе многократной реализации срочной адаптации.

По мнению П. Д. Горизонтова и Т. Н. Протасовой [38] Селье необоснованно стремится безгранично расширить понятие стресса, включая в него все неспецифические реакции организма. Реакция стресс — это общая неспецифическая адаптационная реакция на сильный раздражитель. И. А. Аршавский считает стресс, описанный Селье, «патологическим стрессом» и говорит о необходимости выделения «физиологического стресса» [24]. Однако он четко не связывает развитие «физиологического стресса» с определенной величиной действующего фактора, хотя и отмечает, что она не должна быть чрезмерной.

Наличие множества различных приспособительных реакций организма в ответ на действие многочисленных разных по качеству раздражителей представляется невозможным. В такой же степени маловероятным представляется наличие лишь одной реакции на действие раздражителей разной силы [34].

Следует еще раз подчеркнуть значение количества, меры как того общего, что характеризует действие самых различных по качеству раздражителей. Именно поэтому количество (мера) могло явиться основой для формирования нескольких стандартных, а не бесчисленного множества разного типа приспособительных реакций организма [34]. В зависимости от силы (дозы) воздействия, в организме могут развиваться минимум три адаптационных реакции: на слабые воздействия - реакция тренировки; на воздействия средней силы - реакция активации; на сильные, чрезвычайные - стресс.

Мысль о том, что ионизирующее излучение вызывает типичный стрессовый эффект была высказана еще в начале сороковых годов [39-41]. Экспериментальные и клинические данные свидетельствуют о том, что неспецифические реакции на облучение как на раздражитель могут быть обнаружены в весьма широком диапазоне доз особенно общего облучения, лишь несколько варьируя по частоте и выраженности.

Наличие неспецифических реакций при действии на организм радиации в общей форме показано [1, 32,42-44]. Лучевые реакции на субклеточном и клеточном уровнях запускают в организме ряд последовательных механизмов активации интегрирующих регуляторных систем, значение которых заключается в мобилизации компенсаторных процессов, предназначенных для восстановления гомеостаза данной системы, в связи с чем, эти реакции имеют «неспецифический характер». При однократном воздействии в дозах до 1 Гр включительно все наблюдаемые в раннем периоде изменения являются неспецифическими, стрессорными. Типичная нейроэндокринная реакция, сходная с неспецифическими стресс-реакциями, развивается при облучении животных умеренными дозами: у мышей в пределах 4 -5 Гр.

В отношении неспецифических проявлений радиационного воздействия на организм человека можно сказать, что мощности дозы (0,1 - 1 бэр в год и менее 70 бэр за всю жизнь) не оказывают заметного неблагоприятного влияния по таким суммарным критериям здоровья популяции как средняя продолжительность жизни (СПЖ), рождаемость, средняя частота заболеваний наследственного характера [32].

Диапазон суммарных доз (1 - 10 бэр) при любой его пространственной

ориентации (местное или общее облучение) является переходным к следующему (10 - 100 бэр), при котором становятся реальными некоторые специфические для облучения изменения физиологической регенерации в наиболее радиопоражаемых тканях. При одномоментном и кратковременном облучении в дозе, близкой к 100 бэр, возникает стертая форма острого лучевого заболевания, при получении той же дозы за годы и месяцы может развиться медленно формирующийся клинический синдром нетяжелого хронического лучевого заболевания.

Уровни доз общего облучения в 100 - 1000 бэр должны быть отнесены к категории заведомо повреждающего действия на кроветворение, сперматогенез, эпителий кишечника и др. ткани. Реакция менее раздражаемых систем, как правило, ограничивается неспецифическими рефлекторными сдвигами, в значительной мере носящими адаптивный приспособительный характер и более выраженными при общем облучении [32].

Для класса явлений, характеризуемых как специфические свойственна четкая зависимость от суммарных и разовых доз, а также энергии излучений, поглощенной непосредственно данной структурой (органом, тканью).

В реакции системы крови на воздействие различных стрессоров [35] не отметили закономерных изменений в ранний период, со стороны эритроидного ростка костного мозга, тогда как при облучении даже в малых дозах наблюдали уменьшение содержания эритроидных клеток в костном мозге, степень которого зависела от величины дозы. Этот феномен специфичен для лучевого воздействия и обусловлен прямым действием радиации.

Увеличение дозы облучения уже в ранний период приводит к развитию специфических изменений. В лимфоидных органах и костном мозге происходит гибель клеток в интерфазе, которая зависит от величины дозы. В периферической крови возрастает степень лимфопении, обусловленной значительным снижением поступления лимфоцитов из мест их пролиферации. В костном мозге отсутствует увеличение содержания лимфоидных клеток. По этим причинам значение стресс-реакций в системе крови при воздействии радиации в больших дозах становится незначительным и значительно большую роль в этом случае играет прямое повреждение клеток, т. е. специфическое действие радиации [35].

Идентификация именно специфических адаптационных изменений, являющихся при лучевом воздействии проявлением патологической адаптации, имеет важное значение, поскольку они указывают на переход механизмов компенсации в нозологическую форму патологии. На примере системы кроветворения О.В. Нейман и В.Г. Горлов [45] попытались вычленить специфические и неспецифические реакции гемопоеза, анализируя его морфологические изменения при протяженном облучении с позиции адаптации к чрезвычайному раздражителю. В опытах использовались белые беспородные крысы весом 180-200г., которые подвергались ежедневному 23-часовому гамма-облучению с мощностью дозы 50 Р/сут (1,5Х10 -7 А/кг) в течение 54 дней. Исследования костного мозга проводили в процессе облучения животных до накопления суммарной дозы от 50 до 2700 рад (от 0,5 до 27 Гр).

В процессе пролонгированного облучения крыс наблюдалось три основных периода в поражении костномозгового кроветворения а) первый период гипоплазии, который заканчивался при достижении дозы 6 Гр и характеризовался в это время максимальным угнетением гемопоэза, б) период восстановления костного мозга в процессе облучения с преходящей гиперплазией красного ростка, в) второй период гипоплазии костного мозга с признаками вторичного восстановления эритропоэза.

Полученные Нейман О.В. и Горловым В.Г. [45] результаты по изучению костномозгового кроветворения в процессе пролонгированного облучения крыс в течение 54 дней свидетельствовали о соответствии реакции костного мозга основным стадиям адаптационного синдрома- мобилизации, резистентности и истощения. Динамика морфологической картины костного мозга проявила себя в данных условиях как общая неспецифическая закономерность, то есть изменения гемопоэза складывались из обычных (для действия различных чрезвычайных раздражителей) явлений адаптационного синдрома. Гематологические показатели четко отражали хорошо известные гематологические сдвиги в организме (катаболические и анаболические процессы), характерные для различных видов стрессорных агентов. Такая однотипная, неспецифическая реакция костномозгового кроветворения вполне закономерна и является отражением наиболее эффективных и экономных способов сохранения гомеостаза, выработанных в ходе эволюции.

Однако вопрос о характере реакции организма и его систем на облучение является довольно сложным в связи с тем, что ионизирующая радиация как стрессор вызывает специфические реакции, обусловленные статистическим характером поражения уникальных структур клетки, приводящего к их репродуктивной гибели. Первичный этап действия радиации - ионизация атомов и молекул вещества тканей организма- также специфичен. Кроме того, считается, что состояние облученного организма характеризуется «метаболическим» или «системным» стрессом, когда наличие радиотоксических гуморальных факторов обуславливает развитие дистанционного эффекта облучения на различные органы и системы. Совокупность и временная последовательность способов и путей, посредством которых радиация нарушает равновесие в организме, носит практически неповторимый характер. Принимая во внимание большую интенсивность и длительность облучения животных, вполне возможным было бы на общем фоне неспецифической реакции костномозгового кроветворения ожидать появления каких-то отдельных, сугубо специфических изменений, не наблюдаемых при других видах воздействий. В настоящее время существует мнение, что в силу высокой резистентности управляющих систем организма вклад специфических и неспецифических компонентов в формировании ранней лучевой реакции примерно одинаков. И поэтому появление возможных специфических изменений в морфологической картине костного мозга было бы более вероятным при сравнительно больших суммарных дозах [45].

В настоящем обзоре анализируются материалы экспериментальных наблюдений преимущественно по влиянию внешних источников на органы гемопоэза в условиях хронического воздействия радиации.

Общее количество публикаций на эту тему исключительно велико и систематизировано в ряде обзоров [35,42,46-49]. Однако и сегодня ряд вопросов, имеющих практическую значимость, остаются в ряду наиболее актуальных. В частности, клиническая значимость сдвигов, выявляемых при низком уровне доз; механизмы перехода от начальных отклонений при дозах, близких к предельно допустимым, к выраженным изменениям кроветворения от воздействия суммарных доз радиации; изменения в структуре хромосомного аппарата и пролиферативный потенциал кроветворной ткани и др.

Действию хронического облучения присущи определенные особенности. К их числу следует отнести увеличение дозы облучения по сравнению с биологически равноэффективной, но наносимой кратковременно; повышение радиорезистентности животных (по критерию выживаемости), цикличность

процессов угнетения и восстановления кроветворения, сочетание процессов лучевого повреждения и регенерации.

Общая картина развития радиационного поражения организма, в том числе и кроветворной ткани при протяженном непрерывном или фракционированном облучении мелких лабораторных животных в суточной дозе более 180 сГр подобна той, которая наблюдается при остром облучении в летальном диапазоне доз в пределах костномозгового синдрома [49]. Основными причинами гибели являются развитие сепсиса и геморрагических проявлений, что связано с наличием глубокой аплазии костного мозга, панцитопеническими реакциями в периферической крови.

Относительное равновесие в системе кроветворения развивается при облучении в диапазоне от 50 до 30 сГр/сут. Радиационная инактивация стволовых кроветворных клеток и делящихся клеток морфологически идентифицируемых отделов костного мозга компенсируется существенным возрастанием относительной доли пролиферирующих клеток и скорости их деления. Как показали К. Н. Муксинова и соавторы (1979) [50], при облучении крыс с мощностью дозы 50 сГр/сут. в начальный период облучения (доза менее 10 Гр) усиливается регенерация в эритробластическом ряду и существенно повышается миелопоэз. Значительно (в 2-3 раза) возрастает количество молодых делящихся форм клеток (особенно миелобластов), несмотря на продолжающуюся их радиационную инактивацию и значительное (в 2-6 раз) сокращение притока клеток из менее дифференцированных отделов. Длительность цикла в миелоидном ряду укорачивается на 20-30 %.

Скорость вступления клеток в стадию проэритробласта составляет четверть нормальной. Так как при облучении в ежедневной дозе 50 сГр скорость выхода эритроцитов в циркуляцию не нарушается (у крыс не наблюдается анемии), клетки должны пройти две дополнительные клеточные генерации, чтобы скомпенсировать четырехкратное снижение скорости вступления клеток в стадию проэритробласта. Число регенерирующих клеток при этом снижается приблизительно до 15 % от нормального уровня. Следовательно, эритроидная ткань может адаптироваться к длительному стрессу, вызванному облучением, даже без проявления анемии и без повышения уровня эритропоэтина. Отсутствие определяемых изменений в периферической крови не означает, что их не происходит в костном мозге [51].

В более поздний период облучения, когда поглощенная доза достигает больших величин, активация кроветворения сменяется постепенным угнетением. Срывы в системе гемопоэза, приводящие животных к гибели, обусловлены нарушением регуляторных процессов. При непрерывном облучении животных при мощности дозы 50 сГр/сут. гибель животных наступает в широком временном интервале [51].

Длительный период устойчивого равновесия, когда радиационное поражение системы оказывается скомпенсированным, выявлен при облучении мелких лабораторных животных в ежедневных дозах, не превышающих 20 сГр [49]. Изменение концентрации клеток носит, как правило, волнообразный характер, периоды относительного угнетения сменяются периодами регенераторных процессов в ткани и увеличением количества клеток, несмотря на продолжающееся облучение. Отклонение от нормы средних значений показателей, характеризующих новый равновесный уровень в системе, закономерно увеличивается при возрастании ежедневной поглощенной дозы. Наиболее значимо относительное снижение числа лимфоцитов, что, вероятно, обусловлено не только их радиационной инактивацией, но и перераспределительной реакцией, а также развитием в начальный период облучения общего симптомокомплекса, определяющего неспецифическую

реакцию организма, характерную для общего адаптационного синдрома [32,35].

По данным Блэкет Н.М. [51] при облучении с мощностью дозы 16 сГр/сут., начиная примерно с 9-го месяца, наблюдаются различные изменения у отдельных животных (сигментоядерный нейтрофилез, опухоль молочной железы, лейкемии). Экспериментальные крысы гибнут либо от опухолей, либо от естественных причин при значительном сокращении продолжительности жизни. При мощности дозы ниже 12 сГр/сут. труднее демонстрировать статистически значимые изменения клеточных элементов крови. Однако приблизительно через 500 дней после облучения при мощности дозы 3-10 сГр/сут. наблюдается спад числа лимфоцитов до 0,2-0,5 от нормального уровня [52,53].

При облучении мелких лабораторных животных в дозе 1 сГр в сутки и менее не удается отметить значительных изменений в системе кроветворения в течение всей жизни, продолжительность жизни практически не изменяется, возможно, наоборот, появление стимулирующего эффекта[54].

Наименее разработанным остается вопрос о роли родоначальных предшественников крови в феномене снижения биологической эффективности радиации при длительном облучении. Работ по изучению состояния стволового кроветворного пула и выяснению роли их повреждения в происходящих при этом перестройках в системе кроветворения при облучении недостаточно.

Образовавшийся пробел в изучении полипотентных и коммитированных клеток при длительном облучении затрудняет выяснение механизмов гомеостаза в кроветворной системе. Определение указанных механизмов необходимо для разработки профилактических и лечебных мероприятий, модифицирующих течение и исход хронического лучевого поражения. В связи с этим возникла необходимость проведения специального эксперимента по изучению действия на систему крови различных режимов облучения, принципиально моделирующих различные варианты вероятной радиационной обстановки в естественных условиях.

Целью настоящей работы было выявление закономерностей развития компенсаторно-приспособительных реакций системы гемопоэза при различных режимах γ-облучения.

Организация исследования

Работа выполнена на 935 мышах линии СВА в период 1996-1998 гг.

Нами изучались общие закономерности реагирования системы крови на внешнее хроническое γ-облучение в различных мощностях доз. Условия эксперимента представлены в табл.1.

В процессе облучения обследования проводили 1 раз в 3 месяца (30, 90, 180, 270, 360, 540 суток).В экспериментах использовались мыши линии СВА (24-26 г) в возрасте 90 дней к началу эксперимента. Животные выведены и выращены в виварии УНПЦ РМ г. Челябинска. Животные содержались на стандартном полноценном рационе.

Таблица 1

Условия эксперимента и количество обследованных животных

Группа	Суточная доза, сГр/сут	Число животных (доноры)	Число животных (реципиенты)	Суммарные дозы к концу облучения, Гр
1.	16	60	200	86,4
2.	6	30	120	32,4
3.	4	30	120	21,6
4.	1	30	120	5,4
5.	контроль	45	180	---

Условия моделирования хронического γ-облучения животных

Для практического осуществления эксперимента использован комплекс для радиоэкологического моделирования (рис.1). Комплекс состоит из двух автономных помещений: основного для облучения животных и отделения обеспечения. Внутри основного зала в виде сектора цирка размещены металлические стеллажи для клеток.

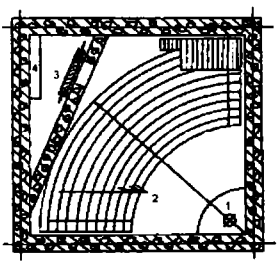


Рис.1 Комплекс для радиоэкологического моделирования.
Схема помещения для облучения
(Шведов В.Л., Голощапов П.В., Корытный В.С.,1984)

1. Источник облучения (ОЦК-400 с зарядом ^{137}Cs).
2. Ярусы для клеток.
3. Защитная дверь.
4. Отделение обеспечения.

Источником облучения являлась модифицированная установка ОЦК-400 с зарядом ^{137}Cs. При этом на каждом ярусе создавалась определенная мощность дозы от 1 до 16 сГр/сут; перепад мощности дозы от передней до задней стенки клетки не превышал 10 %.

Таблица 2

Суммарная среднетканевая поглощенная доза в различные сроки внешнего хронического γ-облучения с различной мощностью дозы, Гр

Время обследования, сут.	Мощность дозы при γ-облучении, сГр/сут			
	1	4	6	16
30	0,3	1,2	1,8	4,8
90	0,9	3,6	5,4	14,4
180	1,8	7,2	10,8	28,8
270	2,7	10,8	16,2	43,2
360	3,6	14,4	21,6	57,6
540	5,4	21,6	32,4	86,4

Облучение осуществлялось круглосуточно за исключением периода уборки и осмотра животных (не более 1 часа). Под наблюдением находилось 500 мышей, разделенных на 5 групп. Контрольная группа состояла из 100 мышей и находилась вне зоны облучения. Четыре экспериментальные группы численностью до 100 животных в каждой были размещены на ярусах основного помещения.

Суммарные среднетканевые поглощенные дозы накопленные мышами-донорами при хроническом γ-облучении в различные сроки представлены в табл. 2.

Условия облучения мышей-реципиентов

Мыши-реципиенты были облучены однократно на установке ИГУР с четырьмя источниками ^{137}Cs, расположенными попарно с двух сторон облучаемого объекта, при мощности дозы 60 сГр/мин и неравномерностью γ-поля установки в рабочем пространстве не более ± 5 %. Мышей-реципиентов облучали в дозах, приводящих к 100 % гибели животных к 10-20 суткам после воздействия. Для исключения несистематических ошибок за счет взаимного экранирования положения животных при облучении фиксировали. Фиксация достигалась размещением животных в ячеистых кассетах из плексигласа с размерами 50×147×170 мм. Кассета рассчитана на размещение 10 мышей. На протяжении всего периода исследований проводился текущий дозиметрический контроль и

вводилась поправка на распад источника.

Из показателей периферической крови оценивали общее количество лейкоцитов и изучали лейкоцитарную формулу по мазкам, окрашенным по Романовскому-Гимза (подсчет проводили на 100 клеток) по общепринятым методам [55]. В каждой экспериментальной группе проводили подсчет количества ядерных клеток в костном мозге и анализ клеточного состава органа. Оценку выживаемости стволовых клеток гемопоэтической ткани осуществляли с помощью метода экзоколонизации. Процедуру метода экзотеста проводили в точном соответствии с модификацией, предложенной Переверзевым А.Е.[43]. Животных-доноров забивали декапитацией с предварительным введением гепарина (50 ед. на мышь). Костный мозг, селезенки, кровь собирали при забое и готовили клеточные взвеси описанным выше методом. Материал, полученный от 5-6 доноров сливали в бюкс, тщательно перемешивали и доводили концентрацию клеток до необходимой величины свежей порцией раствора среды. Для предотвращения свертывания в полученную кровь добавляли 0,1 мл гепарина и тщательно, осторожно перемешивали. До момента введения реципиентам суспензии клеток хранили при температуре тающего льда в затемненных бюксах.

Мышей-реципиентов облучали за 1 час до введения клеточных взвесей и вводили в хвостовую вену суспензию костного мозга (10^5 клеток/мышь), селезенки (10^6 клеток/мышь) в объеме 0,1-0,3 мл. Для предохранения мышей-реципиентов от клинической гибели (на 4-6 сутки с момента облучения) им ежедневно вводили внутрибрюшинно антибиотик - стрептомицин (из расчета 3 мг на 10 мышей).

На 8-9 сутки с момента трансплантации реципиентов забивали, извлекали селезенки, фиксировали фиксатором (100% этиловый спирт - ледяная уксусная кислота (3:1)). Через сутки проводили подсчет макроколоний под увеличением ×5, учитывали колонии не менее 0,3 мм в диаметре.

В случае экзогенного колониеобразования принимали допущение, что выход числа колоний под влиянием какого-либо фактора есть дискретная случайная величина, распределенная по нормальному закону. Расчет достоверности различий производили общеизвестными способами. Для сравнения средних величин при анализе гематологических данных использовали t-критерий Стьюдента.

Наличие или отсутствие связи между показателями устанавливалось с помощью вычисления коэффициента корреляции непосредственно по значениям сопряженных признаков, без группировки выборочных данных в вариационные ряды.

В случае наличия корреляционных связей проводили регрессионный анализ зависимости (Урбах В.Ю.,1964).*

* Статистическая обработка результатов исследований проводилась совместно с научными сотрудниками УНПЦ РМ г. Челябинска, к.б.н. Пряхиным Е.А., Тряпицыной Г.А.

Результаты исследований

Количественные и качественные характеристики состояния периферической крови.

Анализ общего количества лейкоцитов и качественного состава белой крови в контрольной группе животных в течение 18-ти месяцев исследования показал ряд возрастных изменений. Содержание лимфоцитов с возрастом имело тенденцию к снижению с 65 до 40 % ; а относительное количество нейтрофилов - к повышению с 27 до 41 %.

При внешнем γ - облучении общее количество лейкоцитов периферической крови достоверно снижалось уже в первый месяц воздействия во всех дозовых группах, и оставалось достоверно сниженным на всех сроках исследования при всех режимах воздействия (Рис.2).

Наиболее выраженные изменения при внешнем хроническом облучении наблюдались в первой группе животных, облучавшихся с мощностью дозы 16 сГр/сут. Уже к 4-ой неделе облучения общее количество лейкоцитов было снижено до 69 % нормы ($p \leq 0,05$).

В ходе дальнейшего облучения лейкопения прогрессирует и к моменту накопления суммарной дозы 57,6 Гр (12 месяцев облучения) общее количество лейкоцитов было сокращено в трое по отношению к показателям одновозрастной группы контроля. Уменьшение общего количества лейкоцитов сопровождалось изменениями в качественном составе белой крови. Так, относительное количество нейтрофилов в этой дозовой группе было достоверно выше контрольных значений на всех этапах исследования. К первому месяцу облучения относительное содержание нейтрофилов превысило норму на 30 % ($p \leq 0,05$), а к 12-му месяцу воздействия данный показатель составлял 144 % от контрольных величин. Повышение относительного содержания нейтрофилов сопровождалось, начиная с 6-го месяца облучения, достоверным снижением их абсолютного количества на 60 % от уровня контроля (Рис.3).

Параллельно увеличению относительного количества нейтрофилов происходило уменьшение относительного количества лимфоцитов (табл.3). К концу воздействия данный показатель был снижен в два раза относительно нормы, при этом абсолютное количество лимфоцитов составляло 16 % от уровня одновозрастного контроля (Рис. 4).

В дозовой группе 6 сГр/сут наблюдалась стойкая лейкопения до накопления суммарной дозы 21,6 Гр (12-ый месяц облучения), когда отмечалось максимальное опустошение белого ростка крови, при этом общее количество лейкоцитов составляло 36%. Лейкопения была обусловлена как сокращением абсолютного числа нейтрофилов (48,8% нормы), так и сокращением абсолютного количества лимфоцитов (23,1% нормы). Однако, к 18-му месяцу воздействия уровень лейкоцитов повышался до 52% нормы.

Изменения, происходившие в периферической крови мышей, облучавшихся в дозах 1 и 4 сГр/сут были менее выражены. Максимальное опустошение популяции лейкоцитов нами отмечено на 6-ой месяц наблюдения, когда суммарные дозы составляли 1,8 и 7,2 Гр соответственно, при сокращении абсолютного количества нейтрофилов и лимфоцитов.

К 18-му месяцу воздействия достоверных отличий с контролем по данному показателю не обнаружено. Восстановление общего количества лейкоцитов сопровождалось полным восстановлением лимфоидной популяции крови и восстановлением количества нейтрофильных гранулоцитов до уровня 70 - 80 % нормы при облучении в вышеуказанных дозах.

* достоверные отличия от контроля, p≤ 0,05

Рис.2 Динамика количества лейкоцитов периферической крови мышей СВА при хроническом γ - облучении

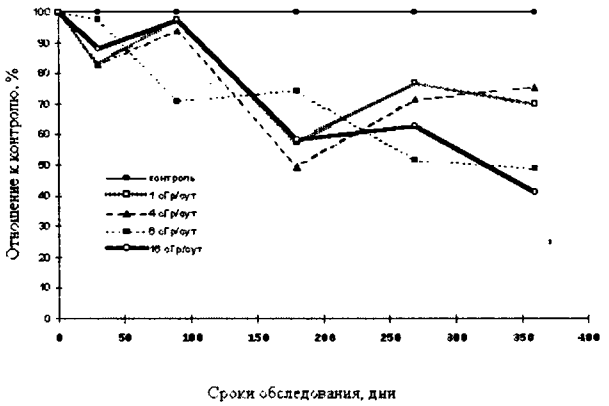


Рис.3 Динамика абсолютного количества нейтрофилов периферической крови мышей СВА при хроническом γ - облучении

Интересным и важным является факт изменения качества лимфоидной популяции периферической крови у облученных мышей по критерию величины лимфоцитов. Лимфоидную популяцию периферической крови контрольных мышей мы разделили на три группы: малые лимфоциты (6-8 мкм), на их долю приходится 20 % клеток от общего количества лимфоцитов, средние (8-12 мкм) - 70 % и большие (более 12 мкм) - 10 %.

При облучении, в первые недели из периферической крови исчезают малые лимфоциты, в то же время начинает увеличиваться относительное количество больших широкоплазменных лимфоцитов. Большие лимфоциты становятся основной клеточной формой лимфоидной популяции крови и составляют 60 - 70 % от общего количества лимфоцитов.

В ряду нейтрофильных гранулоцитов наряду с их снижением, происходит перераспределение молодых и зрелых форм, в сторону увеличения доли молодых. Величина отношения числа палочкоядерных нейтрофилов к сегментоядерным возрастает до 0,23 (табл.3). Картину крови принято классифицировать как патологическую, если это отношение равно или выше 0,15 [56,57]. В контроле соотношение молодых и зрелых нейтрофильных гранулоцитов находится в пределах 0,05 - 0,1. Увеличение количества палочкоядерных нейтрофилов отмечалось во всех группах облучения независимо от суммарной дозы.

Нарушения, вызванные меньшими дозами облучения, оказываются практически скомпенсированными к концу наблюдений, в то время, как в группах животных, подвергшихся более жёсткому радиационному воздействию, происходит стабильное снижение изучаемых показателей. Наиболее выраженные изменения при внешнем хроническом облучении наблюдались в группе животных, облучавшихся с мощностью дозы 16 сГр/сут. Они характеризовались прогрессивным снижением общего количества лейкоцитов периферической крови в два раза и абсолютного в десять раз. Параллельно с сокращением лимфоидной популяции происходило снижение абсолютного количества нейтрофилов, в то время, как относительное их количество увеличилось в два раза.

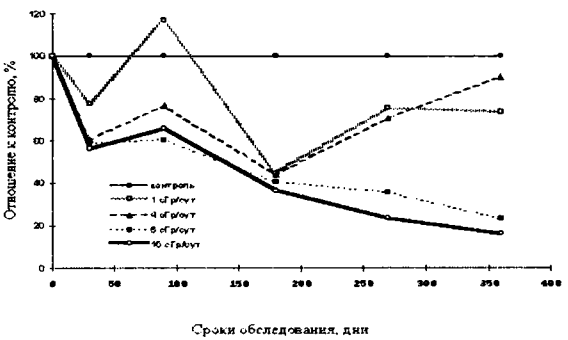


Рис.4 Динамика абсолютного количества лимфоцитов периферической крови мышей СВА при хроническом γ - облучении

Изменение качественного состава популяции лимфоцитов свидетельствует о перестройке лимфопоэза, направленной на повышение приспособительной реакции лимфоидной популяции на длительное облучение организма.

Сравнительная оценка состояния различных ростков кроветворения при хроническом γ-облучении. В соответствии с различной радиочувствительностью и значимостью в поддержании гомеостаза различных кроветворных ростков, количественные и качественные изменения в костном мозге представляют собой результат сложных, налагающихся друг на друга и не совпадающих во времени биологических реакций на радиационное воздействие.

Лимфоидный росток костного мозга. Анализ миелограмм в различные сроки облучения выявил, что наиболее радиопоражаемым пулом костного мозга, в значительной степени определяющим клеточное опустошение в органе является пул лимфоидных клеток. Так, в наших исследованиях достоверное снижение относительного и абсолютного количества клеток лимфоидного ряда в костном мозге наблюдалось через 4-е недели с начала облучения. Как видно из таблицы 4, на первом этапе снижение количества лимфоцитов пропорционально дозе облучения: при облучении мышей дозами 1; 4; 6; 16 сГр/сут количество лимфоидной популяции костного мозга уменьшается к первому месяцу облучения соответственно до 61,4; 35,0; 32,5; 23,5 % от уровня нормы.

Доля лимфоидных клеток в группах облучения 4 - 16 сГр/сут на всех этапах исследования не превышала 60 % нормы. Несмотря на восстановление клеточности костного мозга к концу облучения абсолютное и относительное содержание лимфоидных клеток было сокращено в 4-5 раз по отношению к контролю (доза облучения 4 и 6 сГр/сут), а в дозовой группе 1 сГр/сут доля лимфоидной популяции составляет 54 % от нормы.

Изменения количества лимфоцитов в костном мозге коррелирует с изменением их численности в периферической крови при облучении в дозах 6 и 16 сГр/сут. При менее жёстком радиационном воздействии уменьшение количества лимфоцитов в периферической крови выражено в значительно меньшей степени по сравнению с костным мозгом.

Миелоидный росток костного мозга. Как видно из таблицы 4, динамика клеточности миелоидного ростка близка к динамике абсолютного содержания ядерных клеток костного мозга. На первом этапе происходило опустошение нейтрофильной популяции, длительность фазы опустошения зависела от суточной дозы облучения, глубина опустошения так же определялась величиной суточной дозы. Так, для доз 1; 4; 6; 16 сГр/сут минимальный уровень абсолютного количества нейтрофилов костного мозга по отношению к контролю соответственно составил: 76; 76; 70,7; 34,4 %.

В дальнейшем при дозах 1; 4; 6 сГр/сут отмечалась стабилизация клеточности миелоидного ростка на уровне 10-15 % ниже нормы. При облучении мышей дозой 16 сГр/сут после фазы опустошения происходило резкое восстановление миелоидного ростка до уровня одновозрастного контроля (суммарная доза 43,2 Гр).

На рисунке 5 представлены данные, характеризующие изменения количества клеток миелоидного ряда, относящихся к пролиферативному пулу (миелобласты, промиелоциты, миелоциты).

В период опустошения миелоидного ростка (1-3 месяцы облучения) доля молодых форм во всех дозовых группах находится в пределах доверительного интервала контроля. Абсолютное содержание клеток пролиферативного пула снижалось в соответствии с общим снижением клеточности ростка. То есть глубина опустошения пролиферативного пула совпадает с глубиной опустошения всего ростка.

Таблица 3

Лейкоцитарная формула мышей при хроническом γ-облучении

Мощность дозы	Лейкоцитарная формула %					
сГр/сут	Сегментоядер Нейтрофилы	Палочкоядер Нейтрофилы	Эозинофилы	Базофилы	Моноциты	Лимфоциты
	1-ый месяц облучения					
1	28±2	1,5 ±0,3	4,1±0,5	0	3,4±0,3	63±2
4	32±2	4,2±0,4 *	5,3±0,5	0	2,8±2	56±2 *
6	35±3 *	5,5±0,4 *	5,4±0,7	0	2,9±0,3	51±3 *
16	35±3 *	3,9±0,6 *	3,4±0,4	0	3,4±0,3	54±2 *
Контроль	27±2	1,4±0,3	4,5±0,7	0	2,1±0,5	65±2
	3-ий месяц облучения					
1	27±3	7,1±0,7 *	3,8±0,5	0	3,5±0,3	58±3
4.	38±2 *	0,9±0,2 *	2,5±0,3	0,2±0,1*	3,7 ±0,3*	55±2
6	37±2	0,5±0,3	3,1±0,5	0	3,3±0,3	56±2
16	44±2 *	0,6±0,2 *	2,3±0,4 *	0	4,3±0,3*	49±2 *
Контроль	32±2	5,3±0,5	4,1±0,8	0	2,2±0,4	57±3
	6-ой месяц облучения					
1	41±3	4,1±0,5*	3,3±0,6	0	5,5±0,3	47±3
4	38±2	4,1±0,4 *	4,1±0,4	0,13±0,09	3,3 ±0,4*	50±2
6	49±2 *	3,9±0,4	4,9±0,6	0,13±0,09	3,6 ±0,5*	39±2 *
16	42±2 *	9±1 *	2,2±0,3 *	0,3±0,2	5,7±0,3	40±2
Контроль	35±2	2,6±0,4	4,1±0,5	0,07±0,07	5,8±0,3	52±2
	9-ый месяц облучения					
1	35±2	4,1±0,5	3,1±0,5	0,07±0,07	4,9±0,3	53±2
4	36±2	3,3±0,4	2,6±0,3	0,07±0,07	4,5±0,4	54±2
6	42±3	5,2±0,8	2,7±0,4	0,07±0,07	5,3±0,3	44±2 *
16	55±3 *	7±1 *	2,7±0,5	0,14±0,1	5,4±0,3	31±3 *
Контроль	37±0,1	3,7±0,5	2,9±0,3	0	4,6±0,4	52±1
	12-ый месяц облучения					
1	38±2	4,7±0,4 *	4,5±0,6	0,07±0,07	3,4±0,5	50±2
4	37±2	3,2±0,5	2,4±0,3	0,07±0,07	1,4±0,5	55±2
6	56±3 *	6,5±0,8 *	2,3±0,6	0,08±0,08	2,4±0,5	33±4 *
16	59±5 *	6,6±0,9 *	2,6±0,6	0	3,4±0,4	29±5 *
Контроль	41±2	3±0,5	3±0,5	0,07±0,07	2,5±0,5	51±2

*- достоверные отличия от контроля, $p \leq 0,05$

Отсутствие каких-либо значительных изменений в процентном содержании молодых форм в период снижения численности говорит о том, что относительный темп размножения и созревания клеточных элементов пролиферативного пула миелоидного ростка по сравнению с нормой практически не меняется.

Следовательно, внутри ростка качественных изменений созревания клеток не происходит.

Начиная с шестого месяца воздействия содержание клеток пролиферативного пула резко возрастает и превышает уровень контроля в 1,7 - 2 раза. Наиболее выражено увеличение доли делящихся клеток гранулоцитарного ростка при облучении животных дозами 4 и 6 сГр/сут.

Таблица 4

Клеточный состав костного мозга мышей СВА при хроническом γ-облучении, %

Мощность дозы, сГр/сут	Длительность облучения, сут				
	30	90	180	270	360
Лимфоидный росток					
1	6,15 ±2,80*	4,32±1,44	3,60±0,82	6,55±0,70	4,18±0,68
4	3,51±0,20*	3,66±0,77	1,77±0,72*	1,30±0,20	2,28±0,88*
6	3,26±0,72*	8,05±0,81	2,79±0,45	2,13±0,74	1,48±0,41*
16	2,40±0,37*	2,41±0,54*	1,31±0,44*	0,58±0,14*	гибель
контроль	10,02±2,32	5,39±0,92	4,31±0,58	5,05±1,16	7,70±1,96
Миелоидный росток					
1	67,67±16,52	67,59±2,90	64,22±1,27	61,78±2,88	61,26±4,23
4	63,43±1,21	64,94±2,25	59,07±1,92	58,72±3,33	54,69±3,24
6	70,22±2,69	58,57±1,33*	64,45±1,02*	55,30±2,59	53,83±1,53*
16	68,00±1,16	64,62±7,16	46,83±0,65*	85,18±4,95*	гибель
контроль	65,57±2,16	70,72±3,07	68,53±1,72	68,18±2,30	66,73±4,13
Эритроидный росток					
1	23,96±5,74	27,02±0,83	31,39±1,77	30,88±1,01*	33,42±1,64*
4	32,04±1,34*	30,57±1,67	38,92±1,59	38,7±2,15*	42,55±2,91*
6	25,65±1,92	31,61±0,64*	31,74±1,09	41,24±3,93*	43,88±2,16*
16	28,88±0,81	31,83±4,15*	50,63±2,66*	13,78±3,48*	гибель
контроль	23,53±1,01	22,77±1,82	25,80±1,52	26,13±0,66	24,98±1,85

* - $p \leq 0,05$

Увеличение абсолютного количества миелобластов, промиелоцитов, миелоцитов было зарегистрировано лишь в дозовых группах 6 и 16 сГр/сут (уровень контроля превышен в 2 раза). При облучении в дозах 1 и 4 сГр/сут абсолютное содержание данных клеток превышает уровень контроля на 20 - 40 %.

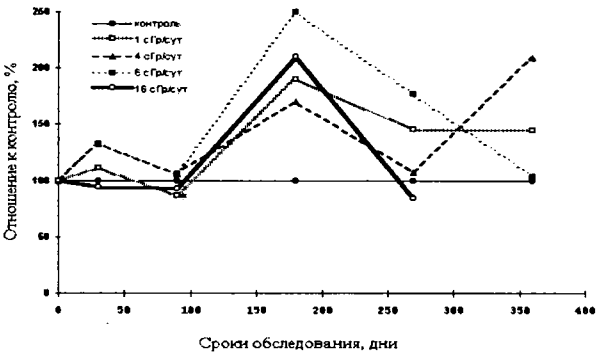


Рис. 5 Доля клеток пролиферативного пула миелоидного ростка костного мозга мышей СВА при хроническом γ - облучении, %

Представляется важным для получения более полной картины реакции миелоидного ростка на облучение сравнить динамику поведения нейтрофилов периферической крови с изменениями, происходящими в костном мозге.

В качественном плане поведение миелоидного ростка костного мозга у облученных мышей соответствует изменению количества нейтрофилов в периферической крови. Фактически отмечаются те же фазы и их последовательность как в центрах, так и на периферии. Однако наблюдаются и определённые несоответствия. К ним относятся: 1 - время установления фаз в костном мозге и в периферической крови, и 2 - относительная глубина изменений количества клеток.

В качестве подтверждения сказанному можно привести сравнительные данные, характеризующие изменение количества нейтрофилов периферической крови и костно-мозговых клеток миелоидного ряда в период максимального их снижения. Максимальное снижение количества нейтрофилов при дозе 1 сГр/сут составляет 57,4 % от уровня нормы, костного мозга - 76 % ; при 4 сГр/ст соответственно 49,3 % и 76%; при 6 сГр/сут - 48,85 % и 70,7 %.

Наиболее вероятно, что в основе наблюдаемых изменений лежат следующие процессы. Известно, что облучение организма вызывает нарушение нормальных реакций метаболизма и приводит к накоплению в тканях продуктов распада клеток, для нейтрализации которых требуется большое количество гранулоцитов [42, 47]. Организм компенсирует повышенную потребность тканей в гранулоцитах путем активации пролиферативных процессов, укорочения сроков пребывания клеток в кровотоке, усиленной мобилизацией их из костномозгового

резерва.

Резкое усиление пролиферации могло сопровождаться продукцией недостаточно жизнеспособных гранулоцитов, что может в свою очередь приводить к увеличению гибели части клеток еще в костном мозге. Кроме того, результаты исследований ряда авторов говорят о функциональной неполноценности вышедших в кровоток гранулоцитов.

Эритроидный росток костного мозга. Морфологические изменения эритропоэза характеризовались относительным и абсолютным увеличением эритробластической части костного мозга (Табл.4). Различия с группой контроля увеличивались по мере нарастания суммарной дозы облучения. Гиперплазия эритроидного ростка была наиболее выражена в диапазоне суммарных доз 10-20 Гр.

Так, к 12-му месяцу облучения абсолютное количество клеток эритроидного ряда в дозовых группах 4 и 6 сГр/сут составляло соответственно 176 % и 181 % нормы ($p \leq 0,05$), относительная доля данных клеток так же превышала контрольные показатели в 1,5 - 1,75 раза ($p \leq 0,05$). При увеличении суммарных доз количество эритроидных клеток костного мозга снижалось до уровня нормы. При суммарной дозе 43,2 Гр (дозовая группа 16 сГр/сут) абсолютное и относительное количество клеток снижалось до 51 % и 53 % нормы соответственно ($p \leq 0,05$).

Различия кинетики клеток эритроидного и гранулоцитарного рядов в наших исследованиях нашли отражение в изменении лейкоэритробластического соотношения. В течение первых месяцев облучения отношение доли гранулоцитарных клеток к относительному количеству эритроидных клеток фактически не отличалось от контрольного при всех режимах воздействия. В дальнейшем, с ростом суммарных доз доля гранулоцитарных клеток снижалась по отношению к эритроидным. Так, анализируемое соотношение к 6-му месяцу облучения дозой 16 сГр/сут падало до 0,92, в то время как в контроле данный показатель составлял 2,66. При других режимах облучения лейкоэритробластическое соотношение в период с 9-го по 12-ый месяц воздействия находилось в пределах 1,52 - 1,23, что в 2 раза ниже нормы.

Анализ закономерностей репопуляции клеток костного мозга показывает, что после некоторого снижения регистрируется увеличение доли делящихся предшественников (недифференцированные бласты, миелобласты, промиелоциты, миелоциты, эритробласты, пронормациты) по отношению к относительному количеству клеток созревающего пула (юные нейтрофилы, палочкоядерные нейтрофилы, сегментоядерные нейтрофилы, нормоциты базофильные, полихроматофильные, оксифильные), которое было обнаружено к 6-му месяцу γ-облучения при всех режимах воздействия, что в дальнейшем реализовалось в восстановлении количества всех клеток костного мозга.

Известным механизмом, приводящим к таким изменениям, является повышение стимуляции ухода кроветворных стволовых клеток в пролиферацию и дифференцировку [58-61].

Другим известным механизмом, направленным на количественное восстановление клеток в кроветворных органах, является повышение скорости прохождения клеток по клеточному циклу одновременно с замедлением созревания, что позволяет сделать несколько дополнительных делений клеток пролиферирующего компартмента (98) и привести к наблюдаемым в наших

экспериментах изменениям соотношения различных ростков кроветворения в костном мозге.

В обоих ростках компенсация клеточных потерь осуществлялась преимущественно за счет клеток средних стадий генераций.

Количественные изменения КОЕс костного мозга и селезёнки в зависимости от суммарной дозы облучения

Для оценки зависимости изменений количества КОЕс от суммарной дозы нами проводился корреляционный анализ и строились графики «доза-эффект». При изучении различных «возмущающих» систему кроветворения факторов, в том числе ионизирующего излучения, как правило ограничиваются определением количества исследуемых клеток в единице объёма органа, упуская из вида возможность изменения при этом самого органа. В этой связи мы изучали динамику как абсолютного содержания КОЕс в органах кроветворения, так и их концентрацию.

Максимальная глубина опустошения пула колониеобразующих единиц костного мозга была отмечена при суммарной дозе 14,4 Гр. Концентрация КОЕс сократилась до 12% от уровня контроля (Рис. 6), а абсолютное содержание стволовых клеток в костном мозге бедренной кости мыши - до 8 % .

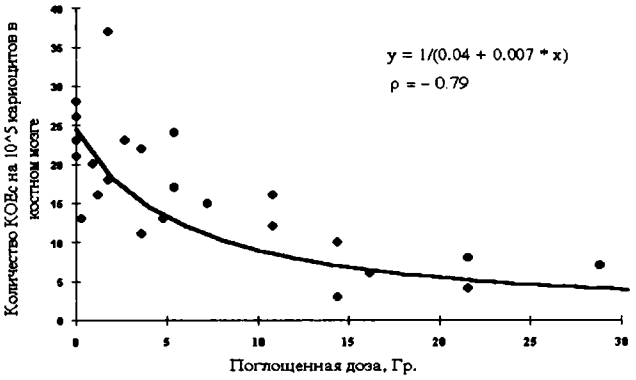


Рис. 6 Зависимость количества КОЕс * 10^5 кариоцитов в костном мозге от суммарной дозы у мышей СВА при хроническом γ - облучении

В дальнейшем при увеличении суммарной дозы до 43,2 Гр количество КОЕс костного мозга и их концентрация повысились соответственно до 55 и 57 % от уровня одновозрастного контроля. Как видно из представленных материалов, количественные и качественные изменения в абсолютном содержании КОЕс костного мозга и их концентрация совпадают.

Коэффициент корреляции количества КОЕс с суммарной дозой облучения равен r = - 0,52. Однако, в исследованиях Горизонтова П.Г. также было отмечено

увеличение числа КОЕс костного мозга при суммарной дозе 45 Гр до 50% нормы при хроническом облучении мышей в дозе 10 сГр/сут, но указанное увеличение носило временный характер. Если принять это к сведению, и при расчёте коэффициента корреляции не учитывать повышение уровня КОЕс к 9-му месяцу облучения, то рассчитанный вновь коэффициент корреляции составит r = - 0,8.

Кривые «доза-эффект», показывающие зависимость количества КОЕс костного мозга от суммарной дозы характеризуются наличием двух участков с различным наклоном: начальным - крутым и последующим - более пологим. Изменение хода дозовой кривой выживаемости клеток в процессе длительного облучения связано с тем, что из-за конкуренции процессов повреждения КОЕс и их размножения суммарная эффективная доза растёт во времени не линейно, а стремится к предельному значению. С увеличением времени облучения эффективная доза возрастает всё медленнее, что и даёт дозовые зависимости такого типа. При подробном изучении кинетики КОЕс у пролонгировано облучаемых мышей [62] пришли к выводу о том, что второй пологий участок дозовой кривой клеточной выживаемости является результатом реализации двух факторов: относительного снижения вероятности дифференцировки стволовых клеток и повышение скорости удвоения коммитированных клеток-предшественников с сокращением времени пролиферации стволовых клеток. В этом случае в условиях уменьшенного общего числа стволовых клеток в течение длительного времени облучения гемопоэтическая система сохраняет возможность на несколько сниженном уровне обеспечивать самоподдержание.

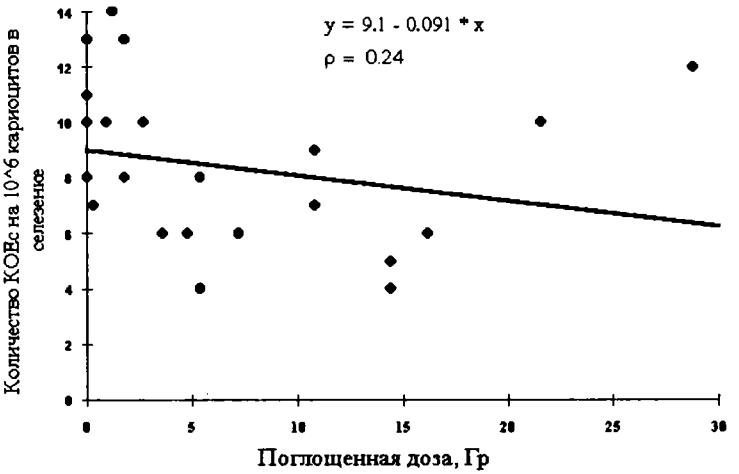


Рис. 7 Зависимость количества КОЕс * 10^6 в селезёнке от суммарной дозы у мышей СВА при хроническом γ - облучении

Корреляционный анализ зависимости уровня КОЕс селезёнки показал отсутствие линейной зависимости, коэффициент корреляции концентрации КОЕс с поглощённой дозой составил r = + 0,24, а коэффициент корреляции абсолютного количества КОЕс селезёнки: r = - 0,56. Такое значение коэффициента корреляции отрицает наличие линейной зависимости между изучаемыми параметрами, но не отвергает возможности нелинейной зависимости.

При анализе зависимости КОЕс селезёнки от суммарной дозы обращает на себя внимание факт различной динамики абсолютного количества КОЕс селезёнки и их концентрация. С ростом суммарной дозы концентрация стволовых клеток селезёнки возрастает и к моменту накопления дозы 43,2 Гр превышает норму в 1,8 раз ($p \leq 0,05$) (Рис.7). Абсолютное количество полипотентных клеток селезёнки к этому моменту на 20% ниже нормы (Рис.8). Периоду увеличения концентрации стволовой популяции КОЕс селезёнки предшествует сокращение стволовой популяции костного мозга до 10 % от уровня контроля.

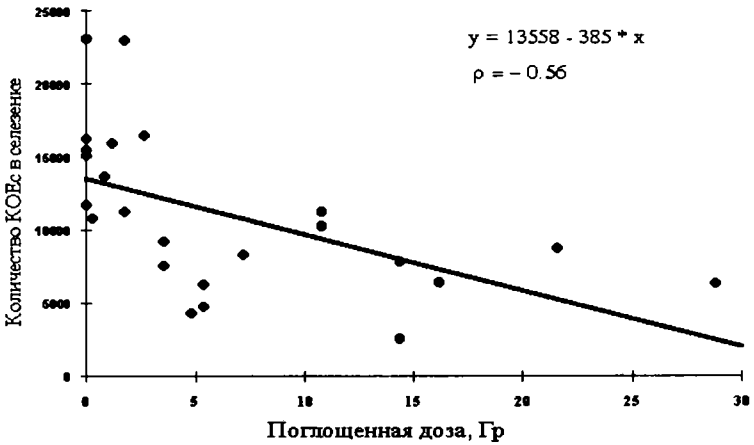


Рис. 8 Зависимость количества КОЕс в селезёнке от суммарной дозы у мышей СВА при хроническом γ - облучении

Количественные изменения КОЕс костного мозга в зависимости от мощности дозы

Содержание полипотентных кроветворных КОЕс костного мозга при облучении с мощностью дозы 16 сГр/сут характеризовалось сменой этапов опустошения и стабилизации. Первичное опустошение происходило уже в первые сутки облучения. Уровень КОЕс костного мозга в этот период снижается на 40 %. В дальнейшем уровень КОЕс стабилизировался и в течение 20 дней вплоть до накопления суммарной дозы 4,8 Гр находился в пределах 50 - 60 % уровня контроля. Фаза вторичного опустошения привела к уменьшению кроветворных КОЕс костного мозга в 10 раз по отношению к норме. Максимальное опустошение

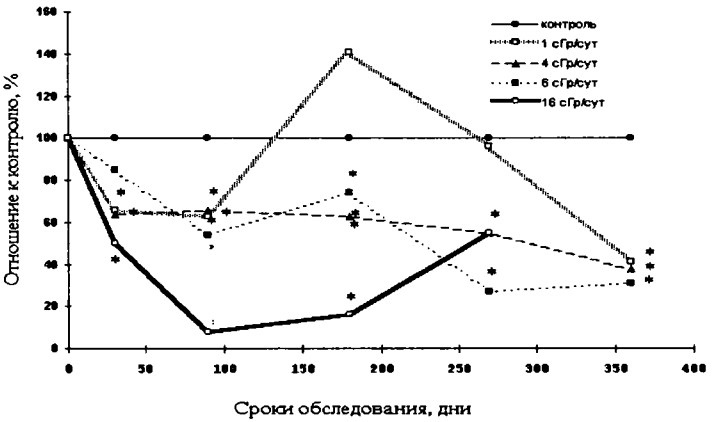
стволовой популяции костного мозга было отмечено при суммарной дозе 14,4 Гр на 3-ем месяце облучения. Однако при дальнейшем облучении мышей происходит повышение числа КОЕс костного мозга до 50 % одновозрастного контроля (Рис.9).

Реакция родоначального компартмента костного мозга на ежедневное облучение в дозах 4 и 6 сГр/сут характеризовалась установлением равновесного состояния начиная с 30-х суток воздействия на уровне 65 - 75 % нормы. Равновесное состояние сохранялось до накопления суммарных доз соответственно 7,2 и 10,8 Гр (6-ой месяц облучения), а затем происходило вторичное опустошение стволовой популяции костного мозга.

Заметно отличалась от приведённой динамика содержания КОЕс в костном мозге мышей, облученных в суточной дозе 1 сГр. Изменения в пуле стволовых клеток при этом режиме воздействия носили неоднозначный характер. Периоды достоверного повышения данного показателя сменялись периодами достоверного уменьшения.

Полученные нами данные в целом согласуются с результатами, полученными в других экспериментах, но в близком к нашим диапазоне доз [35, 41, 46, 47, 63, 64].

С уменьшением дозы суточного облучения изменялся характер опустошения отдела КОЕс костного мозга.



* достоверные отличия от контроля, p≤0,05

Рис. 9 Динамика числа КОЕс на бедро в костном мозге мышей СВА при хроническом γ - облучении

Первоначальное уменьшение количества КОЕс сменялось стабилизацией, а после накопления суммарных доз около 10 Гр происходило повторное значительное уменьшение количества стволовых клеток, которое постепенно углублялось до конца облучения. Видимо после накопления суммарных доз выше 10 Гр в условиях равномерного внешнего облучения резервные возможности отдела стволовых клеток существенно ограничены, что и приводит в случае повышения потребности в притоке из отдела стволовых клеток к нарушению установившегося равновесия между уровнями продукции и дифференцировки в результате дальнейшего сокращения КОЕс. Истощение резервных возможностей стволового пула костного мозга следует связать с выходом в пролиферацию.

Основной причиной депопуляции КОЕс костного мозга в нашем эксперименте не является интенсивная гибель клеток. Это тем более вероятно, что величина $Д_0$ для КОЕс кроветворной ткани значительно выше использованных нами суточных доз облучения. Не объясняет выявленное уменьшение содержания КОЕс в первые дни опыта и предположение о роли в этом процессе торможения пролиферации стволовых клеток. Потеря КОЕс за сравнительно короткий период, возможно, обусловлена их интенсивной дифференцировкой под влиянием облучения. Как показано [65], необходимость усиления дифференцировки КОЕс возникает с самого начала хронического облучения. Отмеченный переход, очевидно, может осуществляться как в месте локализации КОЕс, так и после миграции в другие участки миелоидной или лимфоидной ткани. Длительность периода снижения КОЕс, по видимому, определяется временем, в течение которого темп дифференцировки КОЕс будет превышать скорость их пролиферации. Действительно, с увеличением доли КОЕс в цикле резко замедляется темп снижения их общего количества в костном мозге, а в селезёнке отмечено даже повышение их содержания [65].

Благодаря отмеченному усилению пролиферации стволовых клеток, их содержание в кроветворных тканях облученных мышей в течение длительного времени поддерживалось почти на одном уровне, несмотря на продолжающееся радиационное воздействие. Это очевидно является отражением установившегося нового равновесия между величинами продукции КОЕс, их дифференцировки и гибели. Стабилизации количества КОЕс в этот период должно было способствовать и повышение пролиферативной активности более дифференцированных кроветворных клеток, что могло уменьшить потребность в интенсивном притоке из отдела стволовых клеток.

Количественные изменения КОЕс селезёнки в зависимости от мощности дозы

Динамика стволовой популяции селезёнки характеризовалась периодом снижения численности и периодом повышения количества КОЕс при облучении в дозах 6 и 16 сГр/сут.

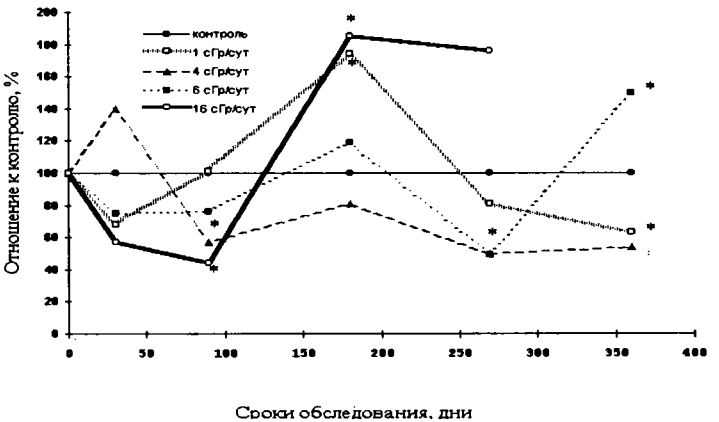
Дозовая нагрузка 16 сГр/сут вызывала снижение концентрации стволовых клеток селезёнки на 3-и сутки облучения до 23,7% ($p \leq 0,05$) от уровня интактных животных. К 13-ым суткам облучения этой дозой количество КОЕс селезёнки повышалось до 47 % ($p \leq 0,05$) и сохранялось на этом уровне до 6-го месяца воздействия. В дальнейшем концентрация полипотентных клеток селезёнки увеличивалась в 3 раза и к 9-му месяцу облучения число КОЕс селезенки превышало норму на 78 % ($p \leq 0,05$). Аналогичные изменения происходили в дозовой группе 6 сГр/сут (Рис.10).

При облучении в дозе 16 сГр/сут минимальное содержание КОЕс в селезёнке составило 16 % от нормы, а при облучении в дозе 6 сГр/сут - 39 % (3-й месяц облучения). В дальнейшем абсолютное количество КОЕс повышается до 78 % в дозовой группе 16 сГр/сут и 96 % - 6 сГр/сут (Рис.11).

При внешнем γ-облучении мышей в дозах 1 и 4 сГр/сут различия в динамике абсолютного содержания стволовых клеток селезенки и их концентрации не наблюдались в течение всего периода облучения (Рис.10,11).

При γ-облучении мышей мощностью 4 сГр/сут популяция стволовых клеток составляла 50-60 % нормальных величин во все сроки исследований; к 18-му месяцу облучения отмечалась тенденция к увеличению уровня КОЕс до субнормальных величин.

Облучение мощностью 1 сГр/сут сопровождалось сокращением количества стволовых клеток в селезёнке до 60 % нормы к 1-му месяцу воздействия. Восстановление и стабилизация КОЕс на уровне 90 % от показателей контроля отмечены нами к 3-му месяцу эксперимента. К 360-ым суткам облучения происходило уменьшение числа стволовых клеток селезёнки.



* достоверные отличия от контроля, p≤0,05.

Рис. 10 Динамика числа КОЕс * 10^6 кариоцитов в селезёнке мышей СВА при хроническом γ - облучении

* достоверные отличия от контроля, p≤0,05.

Рис. 11 Динамика общего количества КОЕс в селезёнке мышей СВА при хроническом γ - облучении

Следует отметить, что сроки и величина увеличения стволовой популяции селезенки зависят не только от мощности дозы и суммарной дозы облучения, но и от поражения системы гемопоэза в целом. Из представленных материалов исследования видно, что увеличение стволовой популяции селезенки происходит лишь после сокращения числа КОЕс костного мозга в 10 раз и более.

Выше изложенные данные приводят к выводу о наличии порогов поражения системы гемопоэза в целом, необходимых для увеличения стволовой популяции селезенки. Создается впечатление, что скорость пролиферации КОЕс селезенки тормозится наличием полноценных очагов кроветворения в костном мозге, несмотря на действие короткоранговых регуляторных механизмов и активизируется при достижении критического порога на уровне 80-90 % поражения стволового пула костного мозга.

Увеличение стволовой популяции в селезенке, вероятно, обусловлено не только миграцией и перераспределением стволовых форм, но, на наш взгляд, и усилением пролиферативной активности стволовых клеток в исследуемом участке гемопоэтической системы.

Роль селезенки во взаимодействии с остальными отделами гемопоэтической системы кажется нам весьма значительной: во-первых, в результате облучения селезенка сама становится местом дополнительной продукции клеток стволового и полустволового типа; во-вторых, не исключено, что облученная селезенка также является одним из источников стимулирующих влияний гуморального характера, вызывающих активацию гемопоэза.

Компенсаторно-приспособительные реакции системы кроветворения в условиях длительного воздействия радиации

Общность и различия картины радиационных изменений эритроидного и миелоидного кроветворения.

Развитие компенсаторных реакций лучевого воздействия в эритроидном и миелоидном ростках можно представить следующим образом. С одной стороны, пролиферативная активность увеличивается за счет сокращения времени генерационного цикла, соответствующего увеличения скорости обновления и увеличения костномозговой продукции клеток, с другой - за счет увеличения или сохранения на относительно стабильном уровне численности клеток пролиферативного пула. В эритроидном ростке оба эти механизма выражены достаточно отчетливо. В итоге, последствия лучевого воздействия компенсированы полностью.

В белом ростке интенсификация процессов клеточного обновления протекала в основном за счет уменьшения длительности генерационного цикла клеток и соответствующего увеличения скорости обновления миелоидных элементов костного мозга. Компенсация гранулоцитарного кроветворения оказалась недостаточной, костномозговая продукция гранулоцитов была сниженной, что и обусловило дефицит гранулоцитов на периферии.

Результаты, полученные в отдаленные сроки воздействия радиации, указывают на то, что в эритроидном ростке механизм компенсации, связанный с ускорением генерационного цикла, видимо, не является основным. По-видимому, лишь на первых этапах развития хронического радиационного поражения эритроидное кроветворение компенсируется за счет реализации неэффективного эритропоэза, повышения митотической активности полихроматофильных нормобластов и уменьшения длительности генерационного цикла.

Из материалов работы видно, что в поздние сроки облучения проявляется конкуренция между эритроидным и гранулоцитарным ростком, что говорит о появлении напряженности механизмов компенсации. Выход из этого состояния возможен лишь при включении механизмов, направляющих дифференцировку истинных стволовых клеток в сторону эритропоэза.

Таким образом, анализ состояния костного мозга в течение всего периода облучения указывает на фазность включения компенсаторных механизмов. На первом этапе происходит, видимо, мобилизация функционально зрелого резерва клеток, что приводит к значительному их истощению. На втором этапе отмечалась компенсация на уровне костномозговых клеток пролиферирующего пула. При истощении этих механизмов, очевидно, происходит включение компенсаторных реакций стволовых клеток.

Соотношение между эритроидным и миелоидным ростком при сокращенном пуле стволовых клеток.

Анализ процессов, происходящих в системе кроветворения при хроническом облучении, позволяет утверждать, что закономерности реагирования эритро- и гранулоцитопоэза развиваются по разным законам, что подтверждается рядом экспериментальных работ других авторов [66-69].

Данные эксперимента на кроликах, облучаемых ежедневно в дозе 0,3 Гр в течение 70 сут, показывают снижение лейкоцитов крови до 50%, а эритроцитов - только до 90 %, при этом число эритроидных клеток костного мозга не опускается ниже нормы в течение 30 суток, а число миелоидных клеток падает до 30 % уже в течение 12 суток и в дальнейшем сохраняется на этом уровне до 50 сут [70]. Согласно другим авторам, у крыс, облучаемых в ежедневной дозе 0,5 Гр, численность эритроидных клеток костного мозга колебалась относительно нормы, превышая ее в некоторые моменты на 30-40 %. В это время численность

гранулоцитарных клеток колебалась относительно уровня 70 % от нормы [35,71]. У мышей, облучаемых также в ежедневной дозе 0,5 Гр, численность эритроидных клеток не опускалась ниже 80% от нормы, а миелоидных - 40 % [71].

Таким образом, собственные материалы и данные литературы свидетельствуют о том, что потребности в эритропоэзе удовлетворяются длительное время в полном объеме, в то время как миелопоэз осуществляется, видимо, за счет оставшейся популяции стволовых клеток костного мозга. Относительные уровни численности клеток, устанавливающиеся в костном мозге в процессе хронического облучения, для эритроидного и миелоидного ростков различны и для эритроидного всегда выше, чем для миелоидного. Сходные соотношения между эритроцитами и нейтрофилами устанавливаются и в периферической крови.

Аналогичные явления - существенное уменьшение количества миелоидных клеток костного мозга по сравнению с эритроидными, попеременное усиление эритро- и гранулоцитопоэза и различная относительная численность клеток в крови для этих линий после окончания процесса восстановления - наблюдаются и после острого облучения.Уменьшение лейкоэритробластического отношения в костном мозге в период восстановления является одним из хорошо известных эффектов острого облучения [72-74].

Одной из характерных особенностей длительного хронического облучения является возникновение колебательных процессов в системе крови. Из материалов работы видно, что колебания численности клеток происходят на всех уровнях созревания: колебаниям подвержена численность стволовых клеток, функционирующих; и различных ростков кроветворения.

Возникновение колебаний в системе крови отмечено многими авторами. Время установления колебаний, амплитуда и длительность этого процесса, скорее всего, дозозависимый процесс [59,71,75,76].

Колебания, возникающие в одном ростке (нами они наблюдались как в эритроидном, так и миелоидном ростке костного мозга), видимо, следует объяснять невозможностью одновременного увеличения числа митозов (пролиферации) и ускорения процессов созревания в одной клеточной линии, при этом следует ожидать совпадения колебаний численности клеток в различных компартментах одного ростка. При сопоставлении событий, происходящих в эритроидном и миелоидном ростках, нами было установлено наличие колебаний практически в противофазе по отношению друг к другу. Возникновение такой ситуации возможно лишь при наличии общего предшественника в классе стволовых полипотентных клеток и из-за необходимости ее попеременной дифференцировки то в одну, то в другую линию развития.

Существование единого предшественника для всех ростков кроветворения приводит к мысли о существовании порогов дифференцировки стволовой клетки в ту или иную сторону в условиях напряженного гемопоэза.

Анализ литературных данных, основанных на экспериментальном материале и методах математического моделирования, позволяет выделить ряд критических уровней в стволовой популяции. Пока численность стволового пула костного мозга не уменьшается до 60 % от уровня нормы, потребности эритропоэза и миелопоэза удовлетворяются полностью. При численности стволового пула костного мозга между 60 и 40 % по сравнению с нормой численность эритроидного ростка к норме возвращается, а гранулоцитарного нет. Колебания в системе возникают, если количество стволовых клеток становится ниже 40%. При дальнейшем снижении миелоидный росток костного мозга и количество зрелых

гранулоцитов периферической крови к норме не возвращается.

Критические уровни в состоянии функционального пула периферической крови, которые регулируют направленность процессов "переключения" преимущественного кроветворения с одной клеточной линии на другую определены. Переключение происходит при падении числа эритроцитов до 0,9-0,8 от уровня контроля, а для гранулоцитов этот уровень составляет порядка 0,5. В целом механизм переключений можно представить так, если концентрация числа эритроцитов падает ниже критического значения, то пролиферация в эритроидной части костного мозга происходит в таком объеме, который целиком удовлетворяет потребности эритропоэза согласно запросу со стороны периферической крови, миелоидный росток в этой ситуации использует для производства клеток оставшуюся часть стволовых клеток; если потребности эритроидного ростка превышают суммарную продуктивность костного мозга, то все возможности кроветворения идут в этих условиях на ликвидацию критической ситуации в эритроидной линии; если же число нейтрофилов падает ниже критического уровня, гемопоэз переключается на удовлетворение потребностей миелоидной линии, а численность эритроцитов будет пополняться уменьшенным потоком клеток.

Характеристика фазности изменений в системе кроветворения при хроническом облучении

Обобщение материалов исследований позволило выявить динамику реагирования и фазный характер состояния системы кроветворения на длительное хроническое облучение. Ионизирующее излучение можно рассматривать как фактор или физический агент, вызывающий неспецифические реакции организма. Согласно теории в общем адаптационном синдроме принято выделять 5 стадий: первичной реакции, угнетения, компенсации, предтерминальная и терминальная [1,35]. Показатели состояния костного мозга, связанные с изменениями пролиферации и созревания клеток, изменениями количества хромосомных аберраций и генерационного цикла, позволяют выделить следующие фазы: первичного угнетения и активации и вторичного угнетения и активации. Каждое из названных состояний имело определенное время развития и динамику компонентов миелоидного и эритроидного ростков костного мозга.

Первичные реакции системы крови на действие радиации характеризуются гибелью, либо инактивацией всех пулов клеток костного мозга, в этом заключается специфичность действия данного стресс-фактора. Вслед за этой стадией следует стадия первичной активации. При действии типичных стресс-агентов стадия активации происходит при увеличении или нормальном уровне кариоцитов. При этом митотическая активность, как правило, превышает норму. Данное состояние возникает при помещении организма в гипоксические условия или при легком стрессе. Его итогом является возросший поток клеток, выходящий из стволового пула, а в целом - увеличение гемопоэтической продукции и численности элементов периферической крови.

При действии малых доз радиации падение численности КОЕс сопровождается их выходом в цикл, причем количество КОЕс, находящихся в цикле, превышает нормальное значение и состояние активации может протекать и при пониженном уровне стволовых клеток. Отличительными чертами стадии первичной активации являются наличие фазы плато, увеличение доли молодых клеток и уменьшение количества зрелых клеток в кроветворной ткани. Данная фаза выявлена в ряде работ других исследователей [47,78-82].

Фаза угнетения характеризуется уменьшенным количеством кариоцитов

костного мозга, в основном, за счет сокращения численности молодых пролиферирующих клеток. Количество зрелых клеток остается на уровне, близком к норме [83-86].

Состояние угнетения при облучении невысокими ежедневными дозами сменяется фазой вторичной активации. На фоне сниженного количества кариоцитов происходит резкое увеличение численности молодых клеток, которое соответствует пику митотической активности. Этим явлениям предшествует сокращение генерационного цикла в пуле морфологически различимых клеток. Увеличение числа делений с ускоренным циклом обеспечивает возрастание гемопродукции. До сих пор неясно, достаточна ли мощность данного резерва кроветворения и как долго он может использоваться.

Стадию вторичной активации можно связывать с формированием новых эктопических плацдармов кроветворения, прежде всего в селезенке. Авторы работы [87] также придерживаются мнения, что вторичная активация вызывается формированием новых очагов кроветворения. Возможно, что имеют место оба явления.

Пожалуй, можно утверждать, что для появления вторичной активации необходимо наличие раздражителя определенной силы и длительности воздействия. В результате такого воздействия происходит перестройка гемопоэза.

Анализ собственных исследований показал, что перечисленные состояния при использованных режимах облучения развиваются обязательно, но первичная активация не выявляется при достаточно высоких ежедневных дозах (16 сГр/сут), а первичное угнетение и вторичная активация присутствуют при всех использованных нами режимах облучения.

Вторичное угнетение не всегда выделяется только потому, что требует для своего развития значительного времени и поэтому не всегда охватывается биологическим экспериментом. При очень низких ежедневных дозах фаза вторичного угнетения может не наступать даже при облучениях, длящихся всю жизнь [57]. При повышении ежедневных доз облучения состояние вторичного угнетения наступает в обозримые сроки [74].

Анализ состояния системы крови при продолжительном хроническом облучении выявил фазы: первичных реакций, первичной активации и угнетения, а также вторичной активации и угнетения. В фазе вторичной активации в системе крови возникают колебательные процессы. Ее появлению предшествует длительное время существующий в организме сигнал неблагополучия.

Роль селезенки в развитии компенсаторно-приспособительных реакций системы гемопоэза при хроническом облучении

Факт повышения устойчивости организма экспериментальных животных при длительном облучении следует объяснять не только изменением радиочувствительности клеток, но изменением их пролиферативного потенциала, приводящим к гиперпродукции КОЕс селезенки. Именно с эффектами повышения содержания КОЕс в селезенке принято связывать повышение радиорезистентности мышей после кровопускания, после введения адаптации животных к условиям высокогорья. Во всех работах подчеркивалось, что ни радиочувствительность, ни способность стволовых клеток к ранней внутриклеточной репарации не изменились [88]. Только увеличение общего числа стволовых клеток, главным образом в селезенке, приводит к повышению устойчивости организма и обеспечивает лучшую регенерацию гемопоэза после облучения. Результаты изучения взаимного влияния селезенки и костного мозга, указывают на то, что реактивные изменения

в пуле клеток стволового типа в значительной мере определяются факторами системного характера. Причем, эффекты дистантного взаимодействия в пределах системы гемопоэза не исчерпываются только ролью процессов миграции и обмена клеточным материалом между органами. Известно, что они в значительной мере связаны с ролью малоизученных гуморальных агентов. В пределах гемопоэтической системы, наряду с известными органами-регуляторами функций полипотентных клеток, каковыми, например, являются тимус и надпочечники, действуют гуморальные факторы, продуцентами которых являются костный мозг и селезенка. Причем, имеет место секреция как активирующих, так и ингибирующих гуморальных агентов, и их действие организовано в тонко отработанную природой систему реципрокных отношений, без которых трудно себе представить надежное функционирование гомеостатических систем [89].

Материальными носителями этих гуморальных факторов являются в костном мозге низкомолекулярные миелопептиды, в селезенке - низкомолекулярные спленопептиды [89,90-97] по отношению к клеткам стволового типа спленопептиды проявляют несравненно более высокое активирующее действие: миелопептиды, судя по сообщениям исследовавших их авторов, увеличивают выход эндоколоний в два раза - спленопептиды на порядок активнее. Кроме того, действие спленопептидов не ограничивается активацией селезеночных КОЕс, степень постлучевой репопуляции костного мозга при действии спленопептидов в 10-20 раз выше, чем в контроле.

Активность спленопептидов предварительно облученных животных по эффекту защиты гемопоэтических органов возрастает в десятки раз по отношению к интактным спленопептидам. Миелопептиды не дают увеличения эффективности после облучения мышей, их доноров [89].

Конкретное определение места и физиологической роли в сплошной системе регуляторных механизмов миелопептидов и спленопептидов требует специального изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Горизонтов П.Д. Стресс и реакция органов кроветворения // Патол. физиология и эксперим. медицина. - 1974.- № 2.-С. 3-6.

2 Уголев А.М. Энтериновая (кишечная гормональная) система. Л.: Наука, 1978.

3 Фурдуй Ф.И. Физиологические механизмы стресса и адаптации при остром действии стресс-факторов. - Кишинев: Штиинца, 1986. - 213 с.

4 Анохин П. К. Очерки физиологии функциональных систем. - М.: Медицина. 975.- 402 с.

5 Судаков К.В. Системные механизмы эмоционального стресса. - М.: Медицина, 1981.

6 Реймерс Н.Ф. Краткий словарь биологических терминов. - М.: Просвещение, 1995. - 366 с.

7 Баблоянц А. Молекулы, динамика и жизнь. Введение в самоорганизацию материи: Пер. с анг. - М.: Мир, 1990. - 365 с.

8 Наумов С.А. Системный подход к фармакологической защите организма от ионизирующего излучения / Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин: под ред. А.В.Трапезникова и С.М.Вовка. - Заречный, 1998. - С.97-110

9 Сапов И.А., Новиков В.С. Неспецифические механизмы адаптации человека. - Л.: Наука, 1984. - 146 с.

10 Тимофеев-Ресовский Н.В., Воронцов Н.Н., Яблоков А.В. Краткий очерк теории эволюции. - М.:Наука, 1977. - 227 с.

11Фомин Н.А. Морфофункциональные основы адаптации школьников к физическим нагрузкам. - Челябинск, 1984. - 84 с.

12 Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме. - М., 1960. - 254 с.

13 Селье Г. Стресс без дистресса. - М.: Прогресс. - 1982. 127 с.

14 Казначеев В.П. Адаптация человека / Социальные и медикобиологические аспекты. -В кн.: Клинические и экспериментальные аспекты общей патологии.- Новосибирск, 1980. - С. 5-17.

15 Ильин Б.Н. Есть ли адаптация к воздействию ионизирующей радиации? // В кн.: Радиационная гигиена. - Л., 1990. - С.57-65.

16 Войтенко В.П. Здоровье здоровых (Введение в санологию). - Киев: Здоровье, 1991. - 246 с.

17 Кудрицкий Ю.К., Георгиевский А.Б. Адаптационная гипотеза биологической эффективности ионизирующего излучения // Атом.энергия. - 1992. - т. 13. - №1. - С.27-32.

18 Москалев Ю.И., Кудрицкий Ю.К. Состояние м перспективы влияния малых доз ионизирующего излучения на здоровье человека // Медицинская радиология. - 1983. - №4. - С.70-74.

19 Кудрицкий Ю.К., Георгиевский А.Б., Карпов В.И. Актуальность развития радиационной биологии // Радиобиологический съезд. Киев, 20-25 сентября 1993 г.: Тез. докл. - Пущино, 1993. - Ч.2.- С.535-536.

20 Коноваленко А.Н. Пострадиационая эндокринопатия у участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС. - Киев. - 1998. - 181 с.

21 Меерсон Ф. 3. Физиология адаптационных процессов. М.: Наука, 1986.-638 с.

22 Саркисов Д.С., Аруин Л.И., Туманов В.П. Морфология компенсаторно-приспособительных процессов / Итоги науки и техники: серия Патологическая анатомия. - М., 1983. - 136 с.

23 Бочков Н.П. Хромосомы человека и облучение. - М.: Атомиздат, 1971. - 168 с.

24 Аршавский И.А. Физиологические механизмы и закономерности индивидуального развития. - М.: Наука, 1982. - 268 с.

25 Гольдберг Е.Д., Дыгай А.М., Удут В.В,, Наумов С.А., Хлусов И.А. Закономерности структурной организации систем жизнеобеспечения в номе и при развитии патологического процесса. - Томск, 1996. - 282 с.

26 Дильман В.М. Четыре модели медицины. - Л.: Медицина, 1987. - 288 с.

27 Лейтес С.М. Правила исходного состояния и его значение в физиологии и патологии // Проблемы регуляции обмена веществ в норме и патологии. - М.: Медицина, 1977. - С.5-23.

28 Wilder J. Stimulus and response // Bristol. Write Sons Ltd., 1967. - 352 p.

29 Петрушенко Л.А. Принцип обратной связи (Некоторые философские и методологические проблемы управления). - М.: Мысль, 1967. - 280 с.

30 Флиднер (Flidner) Т.М. Введение / Руководство по радиационной гематологии. Пер. с анг. А.Л. Выготской, Д.П.Осанова М.: Медицина. - 1974. - С.9-12.

31 Бак З., Александер П. Основы радиобиологии. - М: Ин.лит., 1962. - 500 с.

32 Гуськова А.К. Байсоголов Г.Л. Лучевая болезнь человека. - М.:

Медицина. 1971.-384 с.

33 Виру А.А. Гормональные механизмы адаптации и тренировки. - Л.: Наука, 1981. - 155 с.

34 Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационная реакция организма. - Ростов-на-Дону: Изд. РГУ, 1977. - 178 с.

35 Горизонтов П.Д., Белоусова О.И., Федотова М.И. Стресс и система крови. - М.: Медицина. -1983. -238с.

36 Меерсон Ф.З. Адаптация, стресс, профилактика. - М.: Медицина, 1981. - 185 с.

37 Меерсон Ф.З., Малышев И.Ю. Феномен адаптационной стабилизации структур и защита сердца. - М.: Наука, 1993. - 160 с.

38 Горизонтов П.Д., Протасова Т.Н. Роль АКТГ и кортикостероидов в патологии. - М.: Медицина, 1969.

39 Dougherty T., White A. Influence of hormones on lymphoid tissue structure and function. The role of the pituitary adrenotrophic hormone in the regulation of the lymphocytes and other cellular elements of the blood.—Endocrinology, 1944, vol. 35, N I, p. 68.

40 Dougherty T., White A. Funktional alterations in lymphoid tissue induced by adrenal cortical secretion.—Amer. J., Anat., 1945, vol. 77, p. 81.

41 Dougherty T., Dougherty 1. Acute effect of 4-aminopteroylglutamine ackl on blood lymphocytes and the lymphatic tissue of intact and adrenalectomized mice.—J. Lab. din. Med,, 1950, vol. 35, p. 271

42 Илюхин А.В. Цитокинетическое и морфологическое изучение процессов поражения и компенсации кроветворения при длительном, воздействии ионизирующего излучения: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. - М.1974.-36 с.

43 Переверзев А.К. Кроветворные колониеобразующие клетки и физические стресс-факторы. - Л.: Наука, 1986.- 172 с.

44 Вартанян Л.П., Крутовских Г.Н., Пустовалов Ю.И, Горнаева Г.Ф Адаптационные лучевые реакции систем клеточного обновления и механизмы радиомодификации // Медицинская радиология. - 1993.- № 9. С. 35-37.

45 Нейман О.В. Горлов В.Г. Специфические и неспецифические реакции костного мозга при действии пролонгированного γ - облучения // Известия АН СССР. Сер. биология.- 1985.- №1.- С.137 -141.

46 Муксинова К.Н., Мушкачева Г.С. Клеточные и молекулярные основы перестройки кроветворения при длительном радиационном воздействии. // Под ред. А.К. Гуськовой.-М.: Энергоатомиздат,1990.-160 с.

47 Илюхин А.В., Шашков В.С., Бурковская Т.Е., Зубенкова Э.С. Цитокинетика и морфология кроветворения при хроническом облучении. - М.: Энергоатомиздат.,1982.- 136с.

48 Hendry J.H., Lord B.I. The analysis of early and late respoce to cytotoxic insults in the haemopoietic cell hierarchy // Cytotoxic insult to tissue. Effects on cell lineages // Potten C.S., Hendry J.H. eds., - Edinburgh, Churchill Livingstone. 1983. P.1-66.

49 Григорьев Ю.Г., Попов В.И., Шафиркин А.В. Соматические эффекты хронического γ-облучения. - М.: Энергоатомиздат,1996.- С. 210.

50 Муксинова К.Н., Суходеев В.В., Мурзина Л.Д. Кинетика клеточных популяций в отделах делящихся созревающих нейтрофилов костного мозга при длительном внешнем облучении // Проблемы гематологии и переливания крови. - 1979.- Т.24.- № 6. - С. 16-21.

51 Блэкет Н.М.Гематологические эффекты при длительном лучевом воздействии. - В кн.: Руководство по радиационной гематологии.-М.: Медицина, 1974. - С. 106-115.

52 Ingram M., Mason W.B. Effects of chronic exposure to X-radiation on the peripheral blood of experimental animals /Biological effects of external radiation.- Vol.- 2. chapt. 11.- McGraw Hill, New York, 1954.- P.253-267.

53 Lorenz E. e.a. Efect of long-continued whole-body gamma-irradiation on mice, quinea pigs and rabbits. 3. Effects on life span, weight, blood picture and cancerogenesis and the role of the intensity of radiation / Biological effect of external X and gamma-radiation. Vol. 4. McGraw Hill, New York, 1954.- 300 p.

54 Кузин А.М. Стимулирующее действие ионизирующего излучения на биологические процессы.- М.: Атомиздат, -1974. - С.133.

55 Меньшиков В.В., Демкторская П.Н., Золотницкая Р.П. и др. Лабораторные методы исследования в клинике: Справочник // Ред. В.В. Меньшиков. - М.: Медицина. - 1987. - С. 123-124.

56 Материй Л.Д. Цитоморфологическое излучение системы крови у полевок-экономок в условиях уровней естественной радиации: Дис. ... канд. биол. наук. – Сыктывкар,1978.-132 с.

57 Материй Л.Д., Маслова К.И. Радиация как экологический фактор при антропогенном загрязнении :Тр. Коми филиала АН СССР №67,1984.-С.55-62.

58 Зухбая Т.М. Количественные изменения отдельных генераций клеток эритроидного и гранулопоэтического ростков в костном мозге крыс при постоянном гамма-облучении с различной мощностью дозы // Радиобиология. - 1979.-Т.19.- № 2. - С. 278-282.

59 Fritz T.E., Tolle D.V., Doyle D.E. et al. Hematologic responses of beagles

exposed continuously to low doses of ^{60}Co γ-radiation // Experimental hematology today / Ed. S. Korge. Basel Springer, 1982.- P.254-262.

60 Kalina I., Praslicka M., Petrovicova J. Effect of different daily rate of continuous irradiation upon changes in CFU namber // Folia biologica (Praha).- 1977.- Vol. 23.- № 2.- P.111-115.

61 Norris W.P. e.a. The relationship of dose rate to the production of three forms of marrow damage and death in dogs given protracted whole-body irradiation // Radiation. Res.- 1971.- Vol. 47.- № 1.- 237 p.

62 Коноплянников А.Г. Радиобиология стволовых клеток. - М.: Энергоатомиздат.,1984.- 120с.

63 Wu Chu-Tse, Lajtha L.G. Haemopoietic stem cell kinetics during continuous irradiation // Intern J. Radiat. Biol.- 1975. -Vol. 27.-№ 1.- P.41-50.

64 Wu Chu-Tse, Tan Shao-zhi, Jiang Xue-Ying. Kinetic studies of radiation damage and recovery of murine haemopoietic stem cells during and after continuous irradiation at low dose rate // Cell Tissue Kinet.- 1983.- Vol. 16.-[1] 2.- P.199-207.

65 Мирошниченко И.В., Ярилин А.А., Рябинина И.Д. и др. Факторы, секретируемые клетками костного мозга и тимуса, обогащенными предшественниками Т-лимфоцитов: сравнение с известными цитокинами и характеристика клеток-продуцентов // Иммунология. - 1989, № 6.

66 Harrison D.E. Competetive repopulation: a new assay for longterm stem ceil functional capacity // Blood.- 1980.- Vol. 55.-№1.- P.77-81.

67 Hellman S., Grate H.E. Enhanced erythropoiesis with concominant diminished granulopoiesis in preirradiated recipient mice // J. Exp. Med.-1968.- Vol. 127.- № 3.- P.605-612.

68 Hellman S., Grate H.E. Haematopoietic stem cells: evidence for competing proliferative demands // Nature.- 1967.- Vol. 216.-№ 5110.- P.65-66.

69 Hellman S., Grate H.E., Chaffey J.T. Effect of radiation on the capacity of the stem cell compartment to differentiate into granulocytic and erythrocytic progeny // Blood. 1969.- Vol. 34.- № 2.- P.141-156.

70 Богатов Л.В., Кошурникова Н.А. Изменение системы крови кроликов при многократном повторном внешнем γ-облучении // Биологическое действие радиации и вопросы распределения радиоактивных изотопов. - М.: Биологическое действие радиации и вопросы распределения радиоактивных изотопов. - М.: Госатомиздат. - 1961. - С. 29-48.

71 Белоусова О.И., Трушина М.Н. Количественные изменения различных генераций костного мозга собак после однократного общего γ-облучения // Радиобиология. - 1974.- Т.14.- № 4. - С. 531-535.

72 Акоев И.Г., Мотлох Н.Н. Биофизический анализ предпатологических и предлейкозных состояний. - М.: Наука,1984.- 288 с.

73 Груздев Г.П. Острый радиационный костномозговой синдром. - М.: Медицина. - 1988. - 144 с.

74 Тяжелова В.Г. Кинетические принципы в межвидовых экстраполяциях / Отв. ред. И.Г. Акоев. - М.: Наука,1988.-193с.

75 Сафронов Е.И. Лучевая болезнь внутреннего облучения. - Л.: Медицина, 1972. - 135 с.

76 Сафронова В.Г., Кондратьева Т.М. К вопросу о нарушении кроветворения в отдаленные сроки после лучевого воздействия и причинах развития анемий // Вопросы радиобиологии и клинической радиобиологии. - Л. - 1965.-Т.5. - С. 231-252.

77 Лаптева-Попова М.С. Изменения крови при хронической лучевой болезни // Мед. радиология. - 1958.-Т.3.- № 2. - С. 53-61.

78 Воронин В.С. Изменение периода полужизни эритроцитов при ежедневном фракционированном облучении крыс // Радиобиология.- 1971.- Т.11.- № 6. - С. 920-923.

79 Воронин В.С., Мурзина Л.Д. Изменение кинетики пролиферации эритронормобластов при длительном γ-облучении // Радиобиология. - 1975. - Т.15.- № 4. - С. 619-621.

80 Воронин В.С., Мурзина Л.Д., Суходеев В.В. Динамика миелокариоцитов при длительном повторном γ-облучении // Радиобиология.- 1976.-Т.16.- № 5. - С. 699-702.

81 Зухбая Т.М. Пролиферативная активность клеток костного мозга собак при хроническом гамма-облучении в сочетании с повторным воздействием // Космич. биология и медицина. - 1973.-Т.7.- № 1. - С. 34-36.

82 Муксинова К.Н., Воронин В.С., Лузанов В.М., Мурзина Л.Д. Изменение функционального состояния эритропоэза при длительном фракционированном облучении // Радиобиология.-1970.-Т.10.- Вып. 4.- С. 541-547.

83 Грибова И.А., Солдатова В.А. Восстановление кроветворения у перенесших хроническую лучевую болезнь // Мед. радиология. – 1975.- № 5. - С. 25-28.

84 Данилин А.А., Лукаш Н.И., Серебренникова В.Д. и др. Результаты динамического исследования периферической крови у лиц, длительно работающих с малыми дозами проникающих излучений // Мед. радиология. - 1960.-Т.5.- № 4. - С. 7-14.

85 Джикидзе Э.К., Косиченко Л.П., Куксова М.И. Морфологические и цитогенетические изменения в костном мозгу обезьян в отдаленные сроки после

хронического облучения в малых дозах // Радиобиология.- 1980.- Т.20.- № 2. - С. 281-284.

86 Джикидзе Э.К., Куксова М.И., Косиченко Л.П. Костномозговое кроветворение у макаков-резусов при облучении // Радиобиология.-1974.- Т.14.- № 3. - С. 390-394.

87 Knospe W.H., Adler S.S., Husseini S. et al. Effect chronic continuous low level ?-radiation exposure on hematopoiesis in the mouse // Experimental hematology today / Ed. S. Korge. Basel: Springer, 1982.- P.251-259.

88 Бутенко З.А. Стволовые кроветворные клетки и лейкоз.- Киев.- 1978. - 180 с.

89 Корытный В.С. Патофизиологическое обоснование некоторых путей целенаправленного поиска фармакологических средств противорадиационной защиты: Дис. ... д-ра биол. наук. - Обнинск.,1989. – 276с.

90 Петров Р.В., Чередеев А.Н., Михайлова А.А. и др. Взаимодействие и кооперация клеток при индукции иммунного ответа // Общие вопросы патологии.- М.,1972.-Т.3.- С.106-153.

91 Петров Р.В., Хаитов Р.М. Миграция стволовых клеток из экранированного участка костного мозга при неравномерном облучении // Радиобиология.-1972.-Т.12.-Вып.1.-С.69-76.

92 Петров Р.В., Швец В.Н., Манько В.М. Изменение эритроидного типа дифференцировки на миелоидный под влиянием лимфоцитов // Докл. АН СССР.- 1972.-Вып.2.-С.480-482.

93 Петров Р.В., Швец В.Н. Взаимодействие стволовых кроветворных клеток с лимфоцитами // проблемы гематологии и переливания крови.-1973.-Т.18.- Вып.10.-С.48-54.

94 Петров Р.В., Хаитов Р.М., Рачков С.М. Влияние гидрокортизона на отдельные этапы иммуногенеза // Бюлл. экспер. биологии и медицины.-1975.- Вып.2.-С.63-65.

95 Петров Р.В., Манько В.М., Хаитов Р.М. и др. Факторы контролирующие дифференцировку стволовых клеток. 1. Изменение направления дифференцировки стволовых кроветворных клеток под влиянием дифферецирующих Т-лимфоцитов // Цитология.-1979.-№5.-С.602-610.

96 Петров Р.В. Сеславина Л.С. Взаимодействие лимфоцитов с кроветворными стволовыми клетками // Микробиология, эпидемиология и иммунология.-1977.-Вып.11.-С.28-42.

97 Петров Р.В., Хаитов Р.М. Миграция стволовых клеток из экранированного костного мозга при неравномерном облучении // Радиобиология.- 1972.-Т.12.-Вып.1.-С.69-76.

РОЛЬ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ФРАКЦИИ АЭРОЗОЛЕЙ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ОБЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАПУЛЬМОНАЛЬНЫМ ПЛУТОНИЕМ. (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

Л.М.Щербакова

(Филиал Института биофизики Минздрава РФ)

Одной из важных и сложных проблем радиационной безопасности является оценка реальных величин внутреннего облучения от плутония. Разрозненные сведения по этому вопросу имеются, однако, необходим анализ имеющейся информации.

Задачей данной работы было проанализировать роль мелкодисперсной фракции (МДФ) аэрозолей плутония при вдыхании его при различных условиях поступления (на глобальном, локальном и профессиональном уровнях).

Согласно легочной модели определяющим параметром в накоплении внелегочного плутония является доля f_1 перехода из легких в кровь. Наши оценки показали, что на величину f_1 влияет не столько АМАД аэрозолей, сколько класс соединения (табл.1).

Так, разброс АМАД от 0,1 до 10 мкм меняет f_1 максимум в 2 раза, а в зависимости от класса соединения f_1 меняется до 40 раз, причем максимальная величина характерна для соединений класса Д.

Таблица 1

Зависимость величины f_1 от дисперсности и класса подвижности аэрозолей

АМАД (мкм)	Доли f_1 соединений		
	Подвижных (Д)	Ограниченно-подвижных (Н)	Неподвижных (Г)
0,1	0,621	0,149	0,0342
0,5	0,486	0,106	0,0204
1,0	0,451	0,115	0,0196
10	0,550	0,110	0,0155

В экспериментальных и теоретических работах последний лет (1-4) показано, что МДФ аэрозолей актинидов неподвижных соединений (кл.Г) ведут себя как соединения подвижных (кл.Д), т.е. максимально накапливаются в органах вторичного депонирования.

Принимая во внимание этот факт, мы посмотрели, каковы же фактически полученные физико-химические характеристики аэрозолей для различный ситуаций загрязнения. Анализ литературы показал, что от 30 до 90% аэрозолей Pu в профессиональных условиях и выбросах ядерно-энергетических установок в 70-80-е годы (5-7), в приземном слое воздуха радиохимических предприятий (8) и в глобальных выпадениях (9, 10) являются мелкодисперсными. Что касается фактически обнаруживаемых форм нуклида в воздухе, то плутоний глобальных

выпадений находится в форме Г, а в районах предприятий атомной промышленности и энергетики встречаются различные формы соединений (8,9 данные Зыковой) Следовательно, накопление в организме МДФ аэрозолей в любой ситуации правильнее рассчитывать по параметрам класса Д. В табл. 2 приведены нормализованные нагрузки на скелет и печень от хронического суточного вдыхания МДФ двуокиси Pu.

Таблица 2

Нормализованные коэффициенты N_q (Бк) для оценки накопления МДФ двуокиси плутония при интенсивности вдыхания 1Бк $сут^{-1}$. Модель МКРЗ АМАД = 0,5 мкм

Органы депонирования	Продолжительность поступления (годы)							
	1	5	10	15	20	25	30	70
Скелет	85	388	785	1150	1550	1840	2270	4950
Печень	83	377	765	1110	1470	1800	2120	4240

Для выявления как работают оцененные нами коэффициенты N_q, в таблице 3 приведены сравнения расчетных и фактических данных по накоплению людьми плутония.

Для условий глобальных выпадений видна удовлетворительная сходимость результатов расчетов и наблюдений, особенно если учесть, что расчет по классу Г приведет к большему расхождению сравниваемых величин. Большое превышение расчетных данных над наблюдаемыми в Финляндии, по-видимому, связано с недооценкой накопления в людях, поскольку измеренные концентрации нуклида в воздухе очень близки к таковым в Японии, а значит должно быть близко и накопление в организме.

Таблица 3

Сравнение расчетных и фактических нагрузок (q) от выпадений плутония

Условия выпадений	Источник информации, страна	Концентрация мкБк/м³	n	Год смерти или измерения	Время контакта	q/ организм (мБк)		
						Наблюдение	Расчет	
							Класс Д	Класс Г
Глобальные	США (9,11)	10,8	32	1959-1976	5-20	324	642	32
	Япония (12-14)	1,8-3,1	10	1970	20	104	187	9,4
	Финляндия (15)	3,35	30	1979	20	18	202	10
	Австралия б) (16)	0,5	22	1977	5-9	4,4 (ск.)	1,4-2,6 ск	0,07-0,13
	ФРГ в) (13,14,17)	3,1	45	1981	20	90	193	9,1
	СССР (18)	4,0 г)	5	1981	20	20-133	245	12
Локальные	СССР (19,22)	740	11	1963-1973	10	12500 (ск)	18100 (ск)	905
	"(18,21) город	20 д)	26	1970-1980	30	2930	1790	90
	"(18-21) Тагыш	42	42	-"-	4-30	1750-2730	568-3760	28-188
	"(18-22)е) контроль	4	38	1983	5-30	135-522	61-357	3,1-17,9

Примечания:

а) Поскольку глобальными выпадениями плутония до 1954 г. можно пренебречь (12), то годом начала поступления считали от глобального загрязнения - 1954, от локального - 1953 и 1948 для предприятий, описываемых в работах (19,20) и (18,21) соответственно. Оценки сделаны для взрослых людей.

б) Рассматривались дети 5-9 лет, при этом учитывались измеренные за 1968-1988 гг. концентрации в воздухе и объем вдыхаемого воздуха.

Vреб = 1/3 (V) взрослого

в) Использованы концентрации в воздухе Японии.

г) Использованы концентрации за 1971-1979 гг. для локального района СССР.

д) Использованы натурные концентрации, усредненные за 1977-1979 гг. (18).

е) Использовали наблюдаемые концентрации, полученные за 1971-1979 гг. для контрольного района и коэффициенты распределения плутония по органам,

полученные для жителей города. При расчете нормализованных нагрузок принимали, что $f_2 = 0{,}45$.

Еще более убедительна эта сходимость на локальном уровне, где измерения концентраций Ри в воздухе и тканях сделаны в конкретном районе. Превышение наблюдаемых величин над расчетными в 1,5-2 раза мы склонны объяснять недооценкой МДФ аэрозолей. В отношении диеты есть основания предполагать ее пренебрежимо малый вклад.

Накопление нуклида в организме за счет рациона помимо параметров накопления и выведения, одинаковых для вдыхания и заглатывания, определяется величиной поступления (I) и коэффициентом резорбции ЖКТ -кровь ($f_1^{загл.}$). Анализ литературы показал, что максимальный из наблюдавшихся коэффициент разорбции составлял 5×10^{-3} (23). Авторы работы (15), оценившие долю от заглатывания Ри оленеводами (Финляндия) пришли к предварительному заключению, что реальные значения ($f_1^{загл.}$) у людей близки к рекомендованным в публикации № 2 МКРЗ, а накопление за счет диеты мало по сравнению с таковым от ингаляции. Об этом убедительно свидетельствуют практически одинаковые для северных лопарей и северных финнов уровни накопления нуклида, поступление которого с воздухом было одинаковое, а с диетой - у лопарей в 10 раз выше, чем у южных финнов.

Сказанное можно подтвердить оценками ожидаемого максимального вклада от заглатывания плутония в условиях сухопутной пищевой цепочки. Согласно Беннету (9) измеренное годовое поступление Ри с полной диетой жителям США от глобальных выпадений в 1972 г. составило 1,6 пкки/год, плотность кумулятивных выпадений на этот же год была 2,68 мки/км^2. В районе одного из предприятий, описанных в табл. 3, накопление Ри в почве составило 220 мки/км^2, т.е. было в 82 раза выше глобального. Исходя из такого загрязнения почвы, поступление с диетой в районе предприятия можно ожидать порядка 131 пкки/год, 0,013 Бк/сут. Накопление нуклида в кости за 30 лет при таком поступлении и максимальном значении f_1 будет равно:

$$q_{30}^{диета} = N_q^{вдых} \times I_{диета} \times \frac{F_1^{диета}}{F_1^{вдых}} = 2400 \times 0{,}013 \times \frac{5 \times 10^{-3}}{0{,}476} = 0{,}328 \text{ Бк} = 328 \text{ мБк}$$

Это примерно на порядок меньше, чем наблюдаемая величина ($q_{о\text{-}эм}$ - $q_{печень}$ = 4415 мБк/кость, табл. 3) для наблюдаемого пункта, хотя поступление с диетой может быть больше, чем с воздухом в $\frac{0{,}013}{0{,}0008} = 16{,}3$ раза

Для исследования роли МДФ аэрозолей Ри O_2 в профессиональных условиях с применением средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗ ОД) и без них мы рассчитали накопление нуклида в легких ($q_л$) и кости ($q_к$) для различных вкладов фракций (МДФ, СДФ, КДФ) на уровне поступления $ДК_а$ и 10^3 $ДК_а$ (табл. 4).

При 90% вкладе МДФ и отсутствии СИЗ ОД одна $ДК_а$ за 50 лет хронического поступления даст $q_к > ДС_а^к$. Принятое значение АМАД = 1 мкм характеризует аэрозоли СДФ и при 100% вкладе поступление таких аэрозолей даст 0,1 $ДС_а^л$, т.е. в НРБ есть 10-кратный запас по облучению плутонием легких, при этом, если аэрозоли будут МДФ, то накопление в кости достигнет $ДС_а$.

Таблица 4

Накопление Ри O_2 в зависимости от АМАД и применения СИЗ ОД

С Бк/м^3	Условия поступления						q_{50} (Бк)			
	МДФ		СДФ		КДФ		КДФ	СДФ	МДФ	КДФ+ СДФ
	%	$K_{пр}$	%	$K_{пр}$	%	$K_{пр}$	легкие		Кость	
0,0333	90	0,01	5	0,005	5	0,005	0,0028	0,0069	8,57	0,018
0,0333	90	1	5	1	5	-	0,56	1,41	857	3,8
0,0333	-	-	100	-	-	-	-	27,6	-	75,2
33,3	90	0,01	5	0,005	5	0,005	2,76	6,89	8570	18,8
33,3	5	0,01	90	0,005	5	0,005	2,76	125	486	340
33,3	5	0,01	5	0,005	90	0,005	49,8	6,9	486	18,4

Примечание: $K_{пр}$ - коэффициент проникания "Лепестка", выраженный как доля от концентрации (24).

В условиях идеального ношения СИЗ ОД и значения $К_{пр}$ = 0,01 при С = 10^3 $ДК_а$ к 50му году может быть достигнуто 10 $ДС_а^к$, а одно $ДС_а^к$ - к .... году. Для всех случаев, рассмотренных в табл. 4, величины накопления нуклида от5 % вклада МДФ соизмеримы или превышают таковые от 95% вклада (СДФ + КДФ) аэрозолей. Резюмируя результаты таблицы, можно сказать, что МДФ аэрозолей необходимо нормировать.

Для оценки облучения от 100% вклада МДФ аэрозолей при поступлении $ДК_а$ и $ДК_б$ мы оценили мощности доз ($Р_{50,70}$) и кумулятивные эквивалентные и эффективные дозы ($Д_{50,70}$), используя рассчитанные нами и проверенные на людях нормализованные коэффициенты (табл. 5).

Вдыхание аэрозолей МДФ плутония любого класса на уровне $ДК_а$ и $ДК_б$ может привести к суммарной мощности дозы $Р_{50}$, $Р_{70}$ в 4-7 раз превышающей ПДД и ПД для суммы четырех рассмотренных органов.

Накопленная эффективная доза на организм $Д_{эфф.}$ к 70-му году может достичь 944 мЗв для профессионалов и 293 мЗв (т.е. всего в 3 раза меньше) для лиц из населения.

По данным экспериментальных и клинических исследований Д = (100-1000) мЗв/организм и Р= 100 мЗв/год на скелет имеют различные повреждающие действие на здоровье, в том числе и на учащение злокачественных новообразований (25-27). Из данных табл. 2 и дозовых коэффициентов следует также, что минимально эффективная мощность дозы на кость может быть достигнута к 15-му году профессиональной деятельности, в то время как ПДД - к 50-му году.

Резюмируя данные таблицы 5, можно отметить, что мощность дозы от вдыхания растворимых аэрозолей СДФ и аэрозолей МДФ любого класса должна быть ограничена более жестко, чем в НРБ. Подтверждением тому является экспериментальная работа (28), в которой показано, что радиационное повреждение ряда органов и систем при вдыхании α-активных излучателей опаснее для организма, чем повреждение одной дыхательной системы.

Обобщая в целом результаты анализа собственных расчетов и литературных данных о фактически измеренных параметрах: концентрации плутония в воздухе, дисперсности аэрозолей и о фактических коэффициентах распределения по органам и уровнях накопления нуклида людьми в условиях глобальных и локальных выпадений, можно сделать следующие общие заключения:

1. При всех ситуациях поступления различных классов соединений плутония-239 нормализованные коэффициенты, рассчитанные по параметрам модели МКРЗ для класса подвижных соединений (кл.Д) наиболее близко отражают реальные уровни накопления нуклида в организме.

2. Сходимость литературных данных о фактическом содержании плутония у людей с расчетными для глобальных и локальных выпадений свидетельствует о ничтожно малом вкладе поступления нуклида с диетой. Это подтверждается оценками максимального вклада пищевого пути при известной плотности локального загрязнения почвы и наибольшем из наблюдавшихся коэффициенте резорбции ЖКТ-кровь, а также исследованиями по содержанию нуклида в людях, подверженными в Финляндии и Японии.

3. На основании доз оцененных по реальным параметрам, можно рекомендовать снижение существующих норм вдыхания растворимых соединений Ри, МДФ аэрозолей Ри любых классов в условиях как профессионального, так и локального поступления, а также пересмотр уровней облучения от вдыхания нуклида из глобальных выпадений и выпадений за счет работы атомных и энергетических предприятий.

Таблица 5

Дозы от вдыхания МДФ плутония на уровне $ДК_а$ и $ДК_б$.

Изучаемые параметры	Профессионалы				Изучаемые параметры	Лица из населения			
	кость	печень	селезенка	гонады		кость	печень	селезенка	гонады
P_{50} мЗв/год)	327	212	52	48	P_{50} мЗв/год)	48	16	13	19
P_{50} / ПДД	1,1	1,4	0,35	0,97	P_{50} / ПДД	1,6	1,1	0,87	3,8
Доза, накопленная к 50, 70 году жизни ($Д_о$ мЗв)									
$Д_{30}$ (экв.)	3280	2120	520	484	$Д_{50}$ (экв.)	845	300	244	350
$Д_{30}$ (экв.)	98	127	31	11	$Д_{50}$ (экв.)	25	18	15	88
$Д_{50}$ (экв.)	8150	5300	1300	1210	$Д_{70}$ (экв.)	1770	598	486	698
$Д_{50}$ (экв.)	245	318	78	303	$Д_{70}$ (экв.)	53	36	29	175

Примечание: Согласно НРБ-76 должно соблюдаться неравенство $\sum = \frac{P_{50}\text{ (экв.)}}{ПДД}$ или $\frac{P_{70}\text{ (экв.)}}{ПД} \leq 1$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Parsont M.A. The effect of particle size on organ distribution of radioactive material deposited in the lungs./ Health Phys., 1972, v.22.- N 2. P.143-149.

2 Cooke N.S., Holt F.B. The solubility of some uranium compounds in simulated lung fluid./ Health Phys. 1974. V. 27. N 1. P. 69-77.

3 Stradling G.N.m Hann G.I., Smith H., Breedmore S.E. The metabolity of americium dioxide in the rat./ Radiat. Res. 1978. V. 76. N 3. P. 549-560.

4 Булдаков Л.А., Калныкова З.И., Харунжин В.В. и др. Комбинированное воздействие трансурановых элементов и внешнего гамма облучения: Отчет ФИБ-1. Инв. 1308.- 1980.- 144 с.

5 Неопубликованные данные Мелентьевой Р.В. и др.

6 Водовозова И.Г., Диденко Л.Г., Корчак Л.Н. и др. Радиационная обстановка в районе размещения БАЭС им. И.В.Курчатова. Тезисы Всесоюзной конференции "Актуальные вопросы радиационной гигиены"- М.- 1983. С. 39.

7 Robertson D.E., Thomas C.W., Perkins R.W. Transuranium and other long-lived radionuclides in the terresrial environs of nuclear power plants. EPRI - 2045.- Richland.- 1981.- 181 p.

8 Corey I.G., Pinder I.E. Stack - released plutonium in the terrestrial environment of a chemical separation facility./ Nuclear Safery.- 1982.- V. 23.- N 3 p. 310-319.

9 Bennett B.G. Transuranic element pathways to man./ In : Proceedings of symposium San Francisco. Vienna.- 1975.- P. 367-384.

10 Боголапов Н.В., Долланов Е.Ф., Константинов И.Е. Аппаратурно-методический комплекс для исследования альфа-активных аэрозолей. В кн.: Тезисы 3 Всесоюзной научно-практической конференции по радиационной безопасности. М.- 1976.- С.48.

11 Mc.Inroy I.F., Campbell E.E., Moss W.D. Plutonium in autopsy tissue: a revision and updating of data reported in LA-4875./ Health Phys.- 1979.- V.37.- N 1.- P. 1-136.

12 Kawamura H., Tanaka G.I. Actinides concentration in human tissues / Health Phys. 1983.- V.24.- N 1. Supplement.- P. 451-456.

13 Kasai A., Imai T., Sekine K. Measurement of fallout and dose estimation for ^{239}Pu in Takai-mura, Japan./ Health Phys. 1984.- V.46.- N 1.- P. 214-217.

14 Katsumi Hirose, Yukio Sugimura. Plutonium in surface air in Japan./ Health Phys.- 1984.- V.46.- N 6.- P.1281-1285.

15 Mussalo H., Jaakkola T., Miettinen I., Jaiho K. Plutonium in finnish lapps-an estimate of the gastrointestinal absorption of plutonium by man based on a comparison of the plutonium content of lapps and southern finns./ Health Phys. 1984.- V.46.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

РАДИАЦИЯ И БИОСФЕРА

А.В.Яблоков 4

ДЕЙСТВИЕ ЯДЕРНЫХ И НЕЯДЕРНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ НА МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Г. Г. Поликарпов 16

ЗАКОН ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ХОЗЯИНА И ПАРАЗИТА ПО Н.И.ВАВИЛОВУ И ЕГО РОЛЬ В СОВРЕМЕННУЮ ЭПОХУ

Н.В. Васильев, Т.И. Коляда 26

ЗАМЕТКИ О НЕКОТОРЫХ ОБЩИХ ПРОБЛЕМАХ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.Л.Кошелев, С.М. Вовк, В.П. Сметанников 41

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ПО ОСНОВНЫМ КОМПОНЕНТАМ ОЗЕР НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА В ПРЕДЕЛАХ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В.Трапезников, П.И.Юшков, В.Н.Николкин, В.Н.Трапезникова, М.Я.Чеботина, А.А.Екидин 54

ЗАПАС ЭНЕРГИИ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ ЖИВОТНОГО ОРГАНИЗМА

Б.В. Тестов 95

ИЗОТОПНЫЕ ОТНОШЕНИЯ PU, U И NP В ОБРАЗЦАХ ПОЧВ ИЗ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА И ЗОНЫ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА

Т.М. Бисли, Дж.М. Келли, К.А. Орландини, Л.А. Бонд, А. Ааркрог, А.В. Трапезников, В.Н. Позолотина 105

ВОДОТОКИ ШТОЛЕН ГОРНОГО МАССИВА ДЕГЕЛЕН: РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ И ПРОБЛЕМА РЕАБИЛИТАЦИИ

М. А. Ахметов. Л. Д. Птицкая, В. А. Синяев 119

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНКТОНА В ВОДОЕМЕ-ОХЛАДИТЕЛЕ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС

В.П. Гусева, М.Я. Чеботина, А.В. Трапезников 132

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ГАЗОАЭРОЗОЛЬНОГО ВЫХОДА И ЖИДКИХ СТОКОВ ОТ ЭНЕРГОБЛОКА БН-600

И.И. Колтик, Н.Н. Ошканов 166

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В РЕГИОНЕ НОРМАЛЬНО РАБОТАЮЩЕЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (КОНЦЕПЦИЯ, ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ, РЕАЛИЗАЦИЯ)

Ю.А. Егоров 173

КРАТКАЯ ИНФОРМАЦИЯ ОБ ИСТОРИИ УРАНОВОЙ ГЕОЛОГИИ РОССИИ ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЙ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ ЯДЕРНОГО СЫРЬЯ

М А. Изюмов 198

КОНЦЕПЦИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ. ГОРОД И ЦИВИЛИЗАЦИЯ

Е.Н. Логунцев 219

ОЦЕНКА ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ГОМЕОСТАЗА СИСТЕМЫ ГЕМОПОЭЗА ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ РАДИАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Д.З. Шибкова, О.Г. Андреева, В.Л.Шведов, А.В.Аклеев 234

РОЛЬ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ФРАКЦИИ АЭРОЗОЛЕЙ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ОБЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАПУЛЬМОНАЛЬНЫМ ПЛУТОНИЕМ. (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

Л.М.Щербакова 278

По вопросам приобретения сборника обращаться:

624250, Свердловская область, г. Заречный, а/я 96
ГУДП НИКИЭТ "Техноцнтр «ЛТ»"
Тел. (34377) 7-12-82, факс. (34377) 7-28-56
E-mail: Technocentre@uralnet.ru

или

624250, Свердловская область, г. Заречный,
Биофизическая станция
Трапезников Александр Викторович
Тел. (34377) 3-20-70, 3-54-55

Отпечатано в типографии ООО "Квант-2",
623751, г. Реж Свердловской обл., ул. О. Кошевого, 16.
Заказ 739. Тираж 500.