

УДК. 551.46.+581.19

**Оценка влияния разломных структур
на распределение радионуклидов
в донных отложениях
с использованием космических снимков**

**В. И. Лялько¹, Л. А. Сиренко², А. Д. Федоровский¹,
А. Я. Ходоровский¹, В. М. Шестопапов³**

¹Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ

²Інститут гідробіології НАН України, Київ

³Інститут геологічних наук НАН України, Київ

Надійшла до редакції 17.02.00

Викладені результати досліджень впливу розломно-блокових структур на розподіл радіонуклідів у донних відкладах Київського водосховища, які виконані на основі аналізу космічних знімків та топографічних карт рельєфу дна. Показано, що викладені методичні прийоми вивчення тектонічних структур можна використати для аналізу накопичення та перерозподілу радіонуклідів у донних відкладах водосховищ дніпровського каскаду та інших водних об'єктів.

Анализ имеющейся информации показал, что в донных отложениях Киевского водохранилища и его основных притоках накапливается значительное количество радионуклидов (РН), тяжелых металлов и органических веществ [2, 4—8, 10, 11]. Существенную гетерогенность распределения РН в донных отложениях водохранилищ днепровского каскада после аварии на ЧАЭС объясняли различными причинами: неравномерностью загрязнений радионуклидами в результате поверхностного стока с площади водосбора, попаданием вод притоков, пятнистостью распределения атмосферных осадков, различиями в сорбционных свойствах компонентов донных отложений — песка, глин, илов, гидродинамикой водных масс, интенсивностью зарастания участков литорали высшими водными растениями, различиями в коэффициентах накопления РН гидробионтами и другими факторами. Не отрицая значимости каждого из названных выше факторов

в формировании качественных и количественных различий в распределении РН, мы обращаем внимание на роль в этих процессах геологических особенностей территорий затопления, и прежде всего разломно-блоковых структур, которые выявляются на этой территории в процессе дешифрирования космических снимков.

С рельефом дна водных объектов тесно связано передвижение водных масс, что играет важную роль в накоплении и перераспределении осадков. Изучение проявившихся в современном рельефе разломов, а также ограниченных ими блоков земной коры, несомненно, поможет понять особенности латеральной миграции донных отложений. Известно также, что разломы часто являются зонами повышенной вертикальной проницаемости горных пород для поверхностных и подземных вод. Как было установлено [3], в Чернобыльской зоне проницаемость пород в зонах разломов на порядок и

более превосходит проницаемость ненарушенных пород. Естественно, что в пределах участков зон разломов, расположенных на дне водоемов, миграция происходит еще интенсивнее, чем по аналогичным структурам на суше, так как здесь циркуляция вод постоянна.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании на основе анализа космических снимков и топокарт рельефа дна влияния разломно-блоковых структур на латеральную и вертикальную миграцию РН загрязнений в пределах территории Киевского водохранилища.

Анализ известной нам литературы свидетельствует, что разломные структуры дна водохранилищ с этой целью ранее не рассматривались, поскольку находящаяся под водой земная поверхность не может быть изучена только традиционными геологическими и геофизическими методами. Здесь целесообразно использовать комплексные методы исследований. Многолетний опыт изучения различных природных явлений на основе дистанционного зондирования Земли с искусственных спутников с заверкой результатов наземными измерениями показал высокую эффективность таких подходов для решения различных природоведческих задач, в том числе и для геологических исследований [9].

В основу наших исследований были положены материалы структурного дешифрирования разновременных космических снимков высокого пространственного разрешения, результаты анализа морфологии рельефа по топокартам разных лет, материалы наземных геофизических исследований прилегающих участков суши, а также данные гидробиологических, гидроэкологических, радиоэкологических исследований Киевского водохранилища и р. Припять [2, 4–8, 10, 11].

При анализе закономерностей латеральной миграции РН в донных отложениях по космическим снимкам были уточнены разрывные структуры района Киевского водохранилища и р. Припять и выделены тектонические блоки, проявившиеся в современном рельефе, которые могли оказать влияние на размещение осадков.

Выделение разрывных структур проведено путем структурного дешифрирования космических снимков с использованием аналогового и индикационного приемов в пределах прилегающей к водохранилищу суши и контрастно-аналогового в пределах акватории водохранилища. Учитывая сравнительно небольшую ширину последнего, выделенные по берегам тектонические структуры достаточно уверенно можно было экстраполировать в пределы акватории.

Для выделения блоков прежде всего проводился

анализ гипсометрических отметок и особенностей морфологии рельефа как суши, так и дна водоемов с использованием детальных топокарт различных лет. Кроме разломов и блоков, выделялись еще кольцевые структуры и узлы пересечения разломов, т. е. все структуры, которые влияют на вертикальную проницаемость горных пород и фильтрацию подземных вод. Основное внимание уделялось выделению блоков и определению их роли в распределении загрязнений, которое основывалось на сравнительном анализе представленных в литературе данных о распределении РН в осадках в пределах различных участков дна Киевского водохранилища [2, 9, 10, 11].

Анализ результатов дешифрирования интегральных и многозональных космических снимков высокого пространственного разрешения, сделанных в разные годы со спутников «Космос», «Ресурс», SPOT и Landsat в комплексе с материалами геолого-геофизических исследований, показал, что на современном этапе геологического развития определяющую роль в геологической структуре района размещения Киевского водохранилища играют разноориентированные разрывные нарушения, которые обусловили разломно-блоковое строение территории. На рисунке показано взаимное простран-

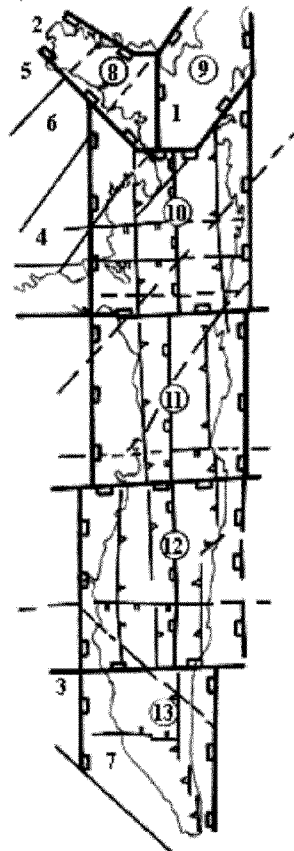


Схема тектонических структур Киевского водохранилища, построенная на основе дешифрирования космических снимков

венное расположение блоков разных порядков и соотношение между отметками поверхности дна в их пределах. Значки на границах блоков всегда направлены в сторону уменьшения отметок рельефа. Кроме разломов, в этом районе установлены кольцевые структуры и узлы пересечения разломов. Выделенные разломы по характеру пространственной ориентировки могут быть сгруппированы в четыре основные системы: субмеридиональные, субширотные, северо-западные и северо-восточные.

Наиболее крупной структурой в районе Киевского водохранилища является субмеридиональная зона нарушений. Она лежит непосредственно на продолжении известной Одесско-Тальновской зоны разломов (рисунок — 1), которая оказала влияние на строение Украинского щита, начиная с архея. По зоне были развиты метасамотические процессы и встречаются тела даек разного состава. Судя по мелкомасштабным космическим снимкам, это нарушение прослеживается от Белого до Черного моря [1]. В пределах исследуемого района и далее на север к 30 км зоне ЧАЭС приурочен субмеридиональный отрезок долины р. Днепр, занятый сейчас Киевским водохранилищем. На мелкомасштабных космических снимках зона отчетливо дешифрируется как достаточно широкая, с нечеткими границами. Параллельно нарушению, совпадающему с долиной р. Днепр, в пределах суши прослеживается еще несколько нарушений, наиболее крупное из которых — Брусиловский разлом, проходящий через район Чернобыльской АЭС. Отдельные разломы, слагающие Одесско-Тальновскую зону нарушений и другие субмеридиональные структуры, относительно равномерно распределены в пределах более крупных структур и обычно имеют небольшую протяженность. В современном рельефе им чаще всего отвечают долины рек, балки, понижения рельефа. В пределах дна Киевского водохранилища, особенно в его северной половине, к субмеридиональным нарушениям приурочены линейные уступы и узкие понижения, участки аномальных глубин дна, что можно отчетливо видеть на лоцманской карте водохранилища. Судя по морфологии, выраженности в рельефе, а также характеру общих закономерностей ориентировки современных тектонических напряжений, субмеридиональные структуры могут быть отнесены к структурам растяжения, которые отличаются максимальными значениями трещинной проницаемости пород.

Субширотные нарушения широко развиты на всей описываемой площади. По данным анализа обзорных космических материалов, север территории расположен в пределах крупного субширотного глубинного разлома, достигающего до Атлантического

побережья на западе и простирающегося далеко на восток. В состав этой структуры входит известная Северо-Украинская горсто-грабеновая зона, захватывающая северную часть Киевского водохранилища. Эта зона прошла длительный путь развития и имеет сложное строение. В ее пределах выделяется серия блоков с разной высотой залегания поверхности фундамента (от +320 до -70 м) и дневной поверхности (от 150 до 320 м). Зафиксированы вертикальные перемещения пород, начиная с рифея, когда сформировались грабены, выполненные полесскими песчаниками. Вероятно, в палеозое грабены превратились в горсты. Интенсивные перемещения пород по зоне происходили на протяжении всего фанерозоя, включая неотектонический и современный этапы развития [3]. Параллельно региональной горстовой зоне прослеживается еще несколько более мелких нарушений, расположенных у северной границы водохранилища, в районе Тетеревского залива, поселков Толокунь и Лебедевка.

Судя по космическим изображениям, отдельные нарушения, слагающие горстовую зону и другие субширотные структуры, отличаются значительной протяженностью, относительно равномерным характером распределения по площади, что существенно затрудняет выделение границ отдельных структур. В современном рельефе зоны Киевского водохранилища большинство субширотных структур представлено положительными формами рельефа — холмами, грядами, песчаными буграми, а также сопряженными с ними отрицательными формами рельефа — болотами, заболоченными понижениями, микрозападинами. Анализ морфологических характеристик, выраженности в рельефе и в геологическом строении показывает, что субширотные нарушения являются типичными структурами сжатия, трещинная проницаемость которых значительно ниже, чем проницаемость структур растяжения.

Среди структур северо-западного простираения наиболее крупное нарушение — Припятский разлом, совпадающий с долиной р. Припять (2). Он проявился в гравитационном поле, пересчитанном на высоту 1.5 и 10 км [13], что дает основание относить его к структурам глубокого заложения. Разлом играет важную роль в геологической истории района, определяя границу между структурами Украинского щита и Днепрово-Донецкой впадины, и относится к Южной прибортовой зоне разломов. Перемещения пород по разлому происходили на новейшем и современном этапах развития. Еще один крупный разлом этой системы — Днепродзержинский (3) — расположен на юге водохранилища, в районе г. Вышгород. Он проявился в полях

Таблица 1. Оценка запасов РН (Бк/кг) в донных отложениях Киевского водохранилища (по данным съемки 20—22 мая 1986 г. [10])

Часть водохранилища	^{137}Cs	^{144}Ce	$^{95}\text{Nb} + ^{95}\text{Zr}$	$^{103}\text{Ru} + ^{103}\text{Rh}$
Правобережная	$7.8 \cdot 10^{13}$	$2.5 \cdot 10^{14}$	$4.4 \cdot 10^{14}$	$4.1 \cdot 10^{14}$
Левобережная	$4.4 \cdot 10^{12}$	$8.7 \cdot 10^{12}$	$2.2 \cdot 10^{13}$	$1.9 \cdot 10^{13}$

Таблица 2. Содержание и характер распределения суммы радионуклидов в донных отложениях на различных участках Киевского водохранилища (Бк/кг) [10]

Время съемки, 1986 г.	Верхний участок водохранилища	Средний участок водохранилища	Нижний участок водохранилища
20—22 мая	6700—157000	45960	6700—93000
5—7 июня	5700—253000	1300—19400	1600—81000
21—23 июня	9000—123000	4700—40300	1400—107400
8—10 июля	19000—80000	800—32700	1900—120000

разностных аномалий силы тяжести на высоте 5 и 10 км, а также в вертикальных градиентах силы тяжести [13].

В современном рельефе структуры северо-западного простирания проявились в самых разных элементах, но наиболее часто они совпадают с участками со спрямленным, однонаправленным простиранием горизонталей, местами их коленообразных изгибов, сгущений. Менее характерны для них отрицательные формы рельефа.

Структуры северо-восточного простирания более многочисленные в пределах описываемого района, чем северо-западные. Среди них наиболее крупным является Тетеревский II разлом (4) — краевое нарушение Тетеревской глубинной зоны разломов раннедокембрийского заложения, с многократной тектонической активизацией, в том числе на неотектоническом и современном этапах развития. В магнитном и гравитационном полях разлом фиксируется цепочками локальных аномалий. В верхнем структурном этаже разлом проявляется фрагментарно, в виде локальных нарушений сбросо-сдвигового характера [12]. Кроме Тетеревского II разлома, в районе Киевского водохранилища установлено еще несколько нарушений аналогичного простирания, но все они не являются глубинными структурами. На карте современного рельефа описываемые структуры чаще всего проявляются аналогично структурам северо-западного простирания. Это участки со спрямленным простиранием горизонталей или их коленообразного изгиба, но, кроме того, нередко индицируются отрицательными эрозионными формами.

Структуры северо-западного и северо-восточного простираний, в отличие от нарушений ортогональных систем, пользуются относительно ограниченным развитием в районе. Они образуют разрывы, в пределах которых слагающие их локальные разрывы располагаются чаще всего линейно. Четко выделяются краевые нарушения, ограничивающие разломы и зоны разломов. Благодаря этому достаточно уверенно устанавливаются границы нарушений, и они значительно уже, чем субмеридиональные и субширотные структуры. Судя по морфологии, особенностям строения и выраженности в современном рельефе, разломы северо-западного и северо-восточного простираний могут быть отнесены к структурам скола, по которым, помимо вертикальных движений, могли происходить и горизонтальные перемещения. По проницаемости эти структуры занимают промежуточное положение между субмеридиональными и субширотными нарушениями, но в пределах отдельных локальных участков значения проницаемости могут резко изменяться.

Кроме разломов, в пределах описываемого района установлены кольцевые структуры. Генезис этих образований до настоящего времени вызывает споры. Однако бесспорно, что кольцевые структуры — это активные на современном тектоническом этапе развития образования, которые оказывают влияние на трещинную проницаемость пород. Так, в районе Чернобыльской АЭС на космических снимках четко выделяется сравнительно крупная, диаметром около 30 км, кольцевая структура, известная под названием Чистогаловская (5). Она только краем захватывает описываемый район. Другая кольцевая структура расположена в районе поселков Опачичи-Страхолесье (6). Ее северо-восточная часть расположена в пределах Припятского отрога Киевского водохранилища и заметно меньших размеров, чем Чистогаловская. Еще одна небольшая кольцевая структура расположена к югу от устья р. Ирпень, часть которой расположена в пределах дна Киевского водохранилища (7).

Все перечисленные выше кольцевые структуры характеризуются закономерным понижением отметок рельефа от центра структур к периферии, что связано с активными тектоническими поднятиями на современном этапе развития. Можно предположить, что кольцевые структуры сформировались под действием сил, направленных вертикально к поверхности Земли, то есть аналогично формированию складок поперечного изгиба. Это приводит к повышению проницаемости трещин, связанных с региональными разломами, в пределах этих структур.

Выделенные разломные нарушения разных сис-

тем пересекаются между собой, образуя узлы пересечения. Нередко в одном месте пересекаются по 3—4 разнонаправленных нарушения. Естественно, что узлы пересечения нарушений характеризуются повышенным количеством трещин, сложным распределением тектонических напряжений и, в целом, высокой трещинной проницаемостью. Это говорит о том, что узлы пересечения разломов являются путями быстрого поступления поверхностных вод в подземные горизонты и наоборот. В пределах Киевского водохранилища нами выделяются несколько таких структур. В северной части водохранилища, где сходятся Припятский и Днепровский отроги, расположен узел пересечения нарушения четырех систем: Одесско-Тальновский, Припятский, Тетеревский II разломы и одно из субширотных нарушений Северо-Украинской горстовой зоны. Кроме того, в этом районе расположена кольцевая структура, активно проявляющаяся на современном этапе развития. Нам представляется, что этот узел является наиболее опасной структурой с точки зрения загрязнения подземных вод радионуклидами.

На юге водохранилища, в районе Киевской ГЭС, установлено пересечение Одесско-Тальновской зоны разломов (1) с Днепродзержинским разломом (3) и с более мелкими нарушениями северо-восточного и субширотного простираний. Кроме того, как было отмечено выше, в этом районе расположена кольцевая структура (7), способствующая повышению проницаемости горных пород. Повышенная трещинная проницаемость пород в этом районе особенно опасна, потому что вблизи плотины ГЭС скапливаются приносимые реками Припять и Днепр разнообразные вещества, включая радионуклиды. Еще три узла пересечения Одесско-Тальновской зоны разломов с более мелкими структурами установлены в пределах Киевского водохранилища. Один из них расположен напротив Тетеревского залива, другой — напротив поселка Толокунь, а третий — против поселка Лютеж. Наиболее опасным, с точки зрения загрязнения подземных вод, следует считать узел в районе Тетеревского залива. Здесь на дне водохранилища накапливается значительное количество различных тяжелых металлов и РН. Еще один узел разломов расположен в районе Чернобыльской АЭС. Здесь пересекаются Южная Прибортовая и Брусиловская зоны разломов с одним из нарушений, относящимся к Северо-Украинской горстовой зоне. Повышению проницаемости пород в пределах описываемого узла способствует и расположенная здесь Чистогаловская кольцевая структура. Высокое содержание радионуклидов и тяжелых металлов в поверхностных отложениях на

этой территории в сочетании с повышенной проницаемостью горных пород делает этот район весьма опасным с точки зрения загрязнения подземных вод.

Результаты структурного дешифрирования космических снимков Киевского водохранилища и анализ характера распределения отметок рельефа его дна позволили выделить в пределах исследуемой территории шесть обособленных блоков первого порядка. Блоки первого порядка состоят из более мелких блоков (более высоких порядков). Развитие блоков во многом происходило автономно и проявилось на этапе рельефообразования в их различном гипсометрическом положении и в разной морфологии рельефа. Блок 8 (рисунок) совпадает с Припятским отрогом водохранилища и ограничен локальными разломами, относящимися к Припятскому разлому глубокого заложения. Рельеф дна характеризуется заметным перепадом высот и очень широким развитием мелких островов сложной формы и мелей. Блок 9 отвечает Днепровскому отрогу водохранилища. Он ограничен локальными разломами, относящимися к Тетеревскому II разлому. Рельеф дна отличается меньшим перепадом высот и менее широким развитием мелких островов, чем для блока 8. Границей между блоками 8 и 9 служит субмеридиональный разлом, относящийся к Одесско-Тальновской зоне разломов. Блоки 10—13 расположены в пределах Киевского водохранилища. Разломы Одесско-Тальновской зоны ограничивают блоки с запада и востока, а субширотные нарушения — с севера и юга. Разломы северо-западного и северо-восточного простираний играли подчиненную роль в определении границ блоков. Аналогичные зависимости присущи ограничениям блоков более высоких порядков. Блок 10 расположен на севере водохранилища, до Тетеревского залива включительно. Рельеф дна выровненный, с минимальными значениями отметок рельефа. Блок 11 ограничен с юга и севера широтными разломами, проходящими через Тетеревский залив и поселок Толокунь, и характеризуется максимальными значениями отметок дна. Поверхность последнего сильно расчленена, выделяются небольшие линейные поднятия, разделенные более крупными по площади понижениями. Северная граница блока достаточно резкая, тогда как южная — более пологая. Блок 12 расположен между широтными разломами, проходящими через поселки Толокунь и Лебедевка. Рельеф дна характеризуется сравнительно широким развитием узких вытянутых поднятий и впадин преимущественно субмеридионального и субширотного простираний. Блок 13 расположен на юге водохранилища. Рельеф дна подобен

рельефу блока 12, но более спокойный. Преобладают поднятия, узкие и вытянутые впадины. Среди последних доминируют образования субмеридионального и северо-западного простираний. По особенностям распределения отметок дна и морфологии рельефа блоки 10—13 были разделены на более мелкие блоки трех порядков.

Анализ построенной схемы (рисунок) показывает, что блоки 10—13 делятся на западную и восточную части по характеру рельефа. Восточные части блоков отличаются от западных более спокойным, выровненным, слабо расчлененным рельефом дна и преобладанием понижений. Граница между западной и восточной частями блоков проходит по узким линейным блокам высоких порядков, которые характеризуются обычно минимальными отметками рельефа дна.

Рассмотренные особенности рельефа дна не могли не сказаться на характере распределения донных осадков и связанных с ними РН. Анализ имеющихся материалов по распределению РН в воде, взвесьях и донных отложениях Киевского водохранилища в 1986 г. [10] показывает, что в правобережной части водохранилища, дно которой отличается более приподнятым и расчлененным рельефом, содержание радионуклидов на 1—2 порядка выше (табл. 1). Вероятно, неровности дна являлись «ловушками» на путях перемещения осадков, содержащих РН.

Сопоставление блокового строения дна с характером распределения суммы радионуклидов ($^{103}\text{Ru} + ^{103}\text{Rh}$, ^{103}Cs , ^{144}Ce) в донных отложениях на отдельных участках водохранилища в разное время (табл. 2) показало, что содержание РН не остается постоянным во времени и изменяется на разных участках водохранилища по-разному. Если в верхней части водохранилища, отвечающей блоку 10, максимальное содержание РН было 5—7 июня 1986 г., то в средней части водохранилища, отвечающей блоку 11, максимальные концентрации обнаружены на 21—23 июня 1986 г., а в нижней части, отвечающей блокам 12 и 13, максимальные величины зарегистрированы 8—10 июля 1986 г.

По-разному происходило и изменение содержания РН в пределах отдельных блоков. Если в блоке 10 оно достигло максимума 5—7 июня 1986 г., и потом снижалось, т.е. происходил постепенный вынос РН, то в блоках 12 и 13 происходило постоянное увеличение содержания РН, т.е. шел процесс накопления. Совсем иной, колебательный, характер изменения содержания РН отмечен в блоке 11. Их концентрация то увеличивалась, то уменьшалась. Это может быть вызвано значительной латеральной миграцией в пределах блока.

Относительно стабильная картина загрязнения осадков водохранилища нашла отражение на схеме размещения содержаний ^{137}Cs в донных отложениях Киевского водохранилища по состоянию на 1995 г. [2]. Распределение радионуклидов определялось интегральным воздействием гидродинамических и седиментационных процессов. Повышенные уровни загрязнения донных отложений установлены в зонах постоянного осадконакопления. Сопоставление данных о пространственном распределении ^{137}Cs в донных осадках со структурной схемой показало, что экстремальные (пониженные и повышенные) содержания радионуклидов в блоках 8 и 9, отвечающих соответственно долинам рек Припять и Днепр, и в остальных блоках, расположенных в пределах водохранилища, подчиняются разным закономерностям. Если в блоках 8 и 9 повышенные концентрации ^{137}Cs связаны с мелководными участками, где широко развиты острова и мели, а пониженные концентрации размещаются в пределах русел рек, то в остальных блоках наиболее высокие содержания радионуклидов приурочены к наиболее пониженным участкам дна водохранилища, включая и старое русло р. Днепр. Пониженное содержание радионуклидов характерно для относительно приподнятых, равнинных участков дна. Эти различия, вероятно, связаны с особенностями гидрологических режимов в разных блоках.

Как известно, в руслах рек наиболее высокие скорости течения, что приводит к выносу осадков. Среди островов и мелей скорость течения минимальная, благодаря чему выпавшие осадки остаются на месте. Волновые процессы также не могут привести к выносу значительного количества осадков. Благодаря большому количеству островов и мелей, их перемещение носит не направленный, упорядоченный, а хаотический характер. В результате осадки смещаются незначительно, оставаясь практически на месте.

В пределах водохранилища, где сравнительно низкие скорости течения, перераспределение осадков связано с волновыми процессами. В этих условиях наиболее глубоководные участки дна будут именно теми местами, где и накапливаются осадки. Действительно, в восточной части блоков 10—13 концентрации РН повсеместно понижены ($4 \cdot 10^{10}$ Бк/км²). Только в пределах отдельных локальных пониженных участков рельефа отмечается относительно повышение их содержания ($2 \cdot 10^{11}$ Бк/км²). В западной части водохранилища содержание ^{137}Cs заметно более высокое ($6 \cdot 10^{11}$ Бк/км²). Наибольшие концентрации установлены в блоке 10, а именно в его западной части ($9 \cdot 10^{11}$ Бк/км²). Вызвано это, вероятно, резким

увеличением отметок рельефа дна к югу от Тетеревского залива, в пределах блока *11*, сыгравшем роль своеобразной плотины.

Минимальное среднее содержание ^{137}Cs установлено в пределах западной части блока *11* (менее $4 \cdot 10^{10}$ Бк/км²). Вместе с тем этот район характеризуется значительными различиями в содержании РН в осадках. Вероятно, это связано с интенсивным выносом отсюда осадков, поступавших с расположенных севернее блоков. Перемещение осадков обусловлено сравнительной мелководностью водохранилища в этом районе и интенсивным ветровым перемешиванием водных масс. Высокие концентрации ^{137}Cs (более $6 \cdot 10^{11}$ Бк/км²) обнаружены в осадках, которые размещаются в пределах узких опущенных участков дна преимущественно субмеридионального простирания. Более высокое содержание РН известно только в пределах блока *8*. В блоке *12* относительно повышенные (до $5 \cdot 10^{11}$ Бк/км²) концентрации ^{137}Cs также приурочены к узким пониженным участкам дна субмеридионального простирания. Слабое (до $7 \cdot 10^{10}$ Бк/км²) повышение содержания РН отмечается и вдоль субширотных нарушений, которые связаны, вероятно, с локальными поднятиями рельефа. Блок *13* отличается от остальной территории водохранилища тем, что в его пределах резко доминируют осадки с содержанием ^{137}Cs в $6 \cdot 10^{10}$ Бк/км², тогда как на остальной территории фоновое содержание менее $5 \cdot 10^{10}$ Бк/км² [2]. Локальные участки относительно повышенного содержания РН связаны с узкими вытянутыми впадинами субмеридионального и северо-западного простираний, что согласуется с особенностями строения блока. Несомненно, что на распределение осадков и связанных с ними РН в пределах блока значительное влияние оказала плотина Киевской ГЭС.

В целом для всего водохранилища характерно, что с севера на юг происходит понижение величин максимального содержания ^{137}Cs в донных осадках, уменьшаются различия в содержании РН между западной и восточной частями блоков. Определяющее влияние на распределение локальных повышенных содержания ^{137}Cs в осадках оказывают узкие понижения рельефа дна субмеридионального простирания, приуроченные к разломам.

Таким образом, в результате проведенных исследований показана возможность использования космических снимков совместно с детальными топокартами для изучения различных тектонических структур, развитых в пределах дна Киевского водохранилища. Установлено, что выделяемые по космическим снимкам тектонические блоки, проявляющиеся в современном рельефе, оказали влияние

на распределение и перераспределение концентраций ^{137}Cs в донных отложениях. Их влияние на распределение РН проявилось как на протяжении первого года после аварии, так и почти через 10 лет, в 1995 г., когда картину распределения ^{137}Cs в донных осадках можно считать уже относительно стабильной. Не вызывает сомнений, что локальные повышенные и максимальные концентрации РН в осадках правобережной и левобережной частей водохранилища в большинстве случаев приурочены к узким линейным понижениям в рельефе, контролируемым субмеридиональными разломами, которые являются структурами растяжения. В пределах участков рек Припять и Днепр, непосредственно примыкающих к водохранилищу (блоки *8* и *9*) закономерности накопления ^{137}Cs совершенно отличные от водохранилища. Здесь повышенные концентрации РН приурочены к мелководным участкам, где много мелей и островов, а минимальные — отмечены в пределах русел рек.

На примере дна Киевского водохранилища практически впервые обращено серьезное внимание на роль разломов, узлов их пересечений и кольцевых структур в распределении загрязнений в донных отложениях водных объектов. Необходимо отметить, что процессы фильтрации по этим структурам, благодаря постоянному наличию воды, идут непрерывно и более интенсивно, чем по аналогичным структурам на суше. Это тем более важно, что все водохранилища являются объектами аккумуляции, на дне которых накопились и продолжают накапливаться разнообразные химические вещества. Наиболее опасными участками, с точки зрения загрязнения подземных вод, являются узлы пересечения субмеридиональной Одесско-Тальновской зоны разломов с разломами других простираний в сочетании с кольцевыми структурами. К таким участкам в первую очередь нужно отнести север водохранилища, район сочленения блоков *8*, *9* и *10*, где пересекаются Припятский, Тетеревский II разломы, один из разломов Северо-Украинской горстовой зоны с Одесско-Тальновской зоной разломов и с выделенной кольцевой структурой. В указанном районе установлены высокие концентрации ^{137}Cs в донных осадках.

Другой такой же неблагоприятный участок расположен на юге водохранилища, где с Одесско-Тальновской зоной разломов пересекается Днепродзержинский и безымянный субширотный разлом и выделена кольцевая структура. Он менее опасен с точки зрения загрязнения подземных вод, так как здесь более низкое содержание ^{137}Cs в донных отложениях. Еще два узла пересечения разломов выделены в районе устья р. Тетерев и поселка

Толокунь, но здесь кольцевые структуры отсутствуют.

Таким образом, изучение разломно-блоковых структур, влияющих на перераспределение придонных водных потоков и осадков, позволяет более точно прогнозировать возникновение экстремальных ситуаций вследствие загрязнений из-за аккумуляции тех или иных химических соединений. Следовательно, особенности геологического строения дна водохранилища и его выраженность в рельефе необходимо учитывать при выборе сети контрольных станций для проведения мониторинга качества не только поверхностных, но и подземных вод, а также уровня загрязнений донных отложений. Не исключено, что разломы, кроме функции перераспределения РН в донных отложениях, могут оказывать и прямое влияние на уровень радиоактивности за счет выброса ^{208}Po , однако этот вопрос требует отдельных исследований.

Методические приемы, использованные для изучения тектонических структур (разломов, узлов пересечения разломов, кольцевых структур и блоков) по космическим снимкам и топокартам рельефа дна Киевского водохранилища, могут быть использованы для анализа закономерностей влияния тектонических структур, активных на современном этапе развития, на накопление и перераспределение донных осадков и токсикантов различного происхождения во всех водохранилищах днепровского каскада.

1. Белевцев Я. Н., Быстревская С. С., Семенюк Н. П. и др. Космотектоническая карта Украинского щита // Исследования Земли из космоса.—1982.—№ 4.—С. 5—14.
2. Войцехович О. В., Шестопалов В. М. До дискусії щодо ідей спуску Київського водосховища // Бюл. екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення.—1999.—№ 14.—С. 45.
3. Гойжевский А. А. Северо-Украинская горстовая зона // Геотектоника.—1975.—№ 3.—С. 27—35.
4. Гудзенко В. В., Онищенко И. П., Шестопалов В. М. Вертикальная миграция осколочных радионуклидов. Итоги десятилетних наблюдений // Чернобыль-96: Сб. тез. — 1996.—С. 53—55.

5. Давидчук В. С., Зарудная Р. Ф., Михели С. В. и др. Ландшафты Чернобыльской зоны и их оценка по условиям миграции радионуклидов. — Киев: Наук. думка, 1994.—112 с.
6. Денисова А. И. Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования. — Киев: Наук. думка, 1979.—290 с.
7. Киевское Приднепровье / Под ред. А. М. Маринича, М. М. Паламарчука. — Киев: Наук. думка, 1988.—176 с.
8. Кухарь В. П. Украина. Чернобыль. 10 лет спустя // Родная природа.—1996.—№ 2-3.—С. 20—26.
9. Лялько В. І., Федоровський О. Д., Сіренко Л. Я. та ін. Використання космічної інформації у вирішенні водогосподарських і водоохоронних завдань // Космічна наука і технологія.—1997.—3, № 3/4.—С. 40—49.
10. Радиогеоэкология водных объектов зоны влияния аварии на Чернобыльской АЭС / Под общей ред. О. В. Войцеховича. — Киев: Чернобыльинтеринформ, 1997.—Т. 1: Мониторинг радиоактивного загрязнения природных вод Украины (обзор исследований, выполненных за период 1986—1996 гг.).—308 с.
11. Радиоактивное и химическое загрязнение Днепра и его водохранилищ после аварии на Чернобыльской АЭС. — Киев: Наук. думка, 1992.—194 с.
12. Тектоника нефтегазоносных областей юго-запада СССР (Объяснительная записка к тектонической карте нефтегазоносных областей юго-запада СССР с использованием материалов космических съемок) // Р. Г. Гарецкий, В. В. Глушко, Н. А. Крылов и др. — М.: Наука, 1988.—85 с.
13. Хоменко В. И. Глубинная структура юго-западного края Восточно-Европейской платформы. — Киев: Наук. думка, 1987.—140 с.

ESTIMATING THE INFLUENCE OF FRACTURE-BLOCK STRUCTURES ON THE DISTRIBUTION OF RADIONUCLIDES IN BOTTOM SEDIMENTS WITH THE USE OF SPACE IMAGES

V. I. Lyal'ko, L. A. Sirenko, A. D. Fedorovsky, A. Ya. Khodorovsky, and V. M. Shestopalov

We discuss the influence of fracture-block structures on the distribution of radionuclides in the bottom sediments in the Kiev water storage reservoir studied from the analysis of space images and topographic maps of the reservoir bottom. It is shown that the methods for the investigation of tectonic structures described here may be used to analyses the storage and redistribution of radionuclides in the bottom sediments of other water storage reservoirs of the Dnipro cascade and other water bodies.