



МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»)

ФАКУЛЬТЕТ ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
КАФЕДРА ГЕОГРАФИИ И МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ ГЕОГРАФИИ

Изучение радиоактивно-загрязненных местностей на примере  
реки Теча на территории Челябинской области

Выпускная квалификационная работа по направлению  
44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки)  
Направленность программы бакалавриата  
«Экономика. География»  
Форма обучения очная

Проверка на объем заимствований:  
68,62 % авторского текста

Работа рекомендована к защите  
рекомендована/не рекомендована

«10» июня 2022 г.  
зав. кафедрой географии и МОГ  
Малаев Александр Владимирович

Выполнила:  
студентка группы ОФ-501/069-5-1  
Епимахова Наталья Михайловна

Научный руководитель:  
канд. геогр. наук, доцент  
Захаров Сергей Геннадьевич

Челябинск  
2022

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАССЕЙНА РЕКИ ТЕЧА.....	5
1.1 Физико-географическое положение реки Теча.....	5
1.2 Тектоника, геология и рельеф.....	6
1.3 Климат .....	7
1.4 Почвенно-растительный покров и животный мир .....	8
1.5 Гидротехнические сооружения.....	9
Выводы по 1 главе.....	11
ГЛАВА 2. РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕКИ ТЕЧА И ОЦЕНКА РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕСТНОСТЕЙ В ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ .....	13
2.1 История радиоактивного загрязнения Челябинской области.....	13
2.2 Оценка радиоэкологического загрязнения местностей в районе р. Теча в Челябинской области .....	16
2.3 Исследование гидроэкологического и радиологического состояния р. Течи и речной долины на участке с. Бродокалмак .....	19
2.4 Возможные методы реабилитации .....	22
Выводы по 2 главе.....	30
ГЛАВА 3. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ .....	32
3.1 Разработка внеурочного мероприятия в рамках школы .....	32
3.2 Разработка учебно-экологической тропы по участкам реки Теча (проектная деятельность) .....	39
Выводы по 3 главе.....	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	55

## ВВЕДЕНИЕ

Исследования обстановки на реке Теча спустя 73 года после первого радиоактивного загрязнения являются актуальными и по сей день, так как донные отложения реки и низкая пойма до сих пор содержат в себе радиоактивные элементы и представляют опасность для прибрежных населенных пунктов.

В настоящее время существует много работ по изучению радиоактивного загрязнения реки Теча и последствий этого загрязнения. В большей степени изучаются такие вопросы, как исследование лиц, подвергшихся хроническому радиационному воздействию, анализ риска смерти от злокачественных новообразований у населения, облучившегося на реке Теча и Восточно-Уральском радиоактивном следе (Крестинина Л.Ю., Силкин С.С., Микрюкова Л.Д., Епифанова С.Б., Аклеев А.В.), Изучаются вопросы адаптационных реакций на хроническое радиационное воздействие у рыб реки Теча (Егорейченков Е. А., Осипов Д. И., Пряхин Е. А., Аклеев А. В.), а также социальная защита граждан и т.д.

Остались не до конца изученными гидрологические аспекты радиационного загрязнения, изменения удельной радиоактивности: после впадения притоков; общего понижения водности реки в связи с искусственным отчленением значительной части водосбора, падения уровня, усиление овражной и бортовой эрозии после построения плотины и левобережного и правобережного обводных каналов, что сильно изменило гидрологический режим реки. Учёт всех этих особенностей с географической точки зрения может помочь в рассмотрении вопроса об управлении распространения радионуклидов.

Целью квалификационной работы является описание современного состояния радиоактивно-загрязнённых местностей реки Теча и выявление оптимальных методов реабилитации для участка реки.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить научную литературу по теме исследования.
2. Исследовать современное гидроэкологическое и радиационное состояние на участках реки Теча, расположенных вблизи с. Бродокалмак.
3. Предложить мероприятия, снижающие радиационную нагрузку на жителей населенных пунктов, расположенных на берегах реки (на примере с. Бродокалмак).
4. Внедрить полученные материалы в учебный процесс.

Объект исследования: река Теча.

Предмет исследования: анализ экологического состояния участка реки Теча вблизи с. Бродокалмак.

Научная новизна: анализ современного гидроэкологического и радиационного состояния реки Теча, разработка способа очистки участка реки Теча близ н.п. Бродокалмак.

Практическая значимость: заключается в разработке мероприятия по снижению радиационной нагрузки на местное население. Результаты работы могут быть использованы административными органами Челябинской области, а также специалистами в области экологии и охраны природы. Данная работа может быть использована при изучении регионального компонента географии в 5-9 классах.

Апробация результатов: результаты работы докладывались на ассамблее студенческой науки ЮУрГГПУ в 2020 и 2021 гг. В 2021 г. материалы исследования были сообщены на II Международной научно-практической конференции «Географическое пространство: сбалансированное развитие природы и общества». По теме исследования имеются 2 публикации, учитываемые РИНЦ.

# ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАССЕЙНА РЕКИ ТЕЧА

## 1.1 Физико-географическое положение реки Теча

Река Теча до 1949 г. вытекала из оз. Иртыш в Челябинской области. В настоящее время берёт начало от плотины водоёма В-11, зоны впадения левобережного и правобережного отсечных каналов и Асановских болот. Река Теча протекает в восточном и северо-восточном направлении, впадает в р. Исеть – р. Обь в Курганской области. Длина реки при выходе из оз. Иртыш составляет 243 км, падение реки 145 м, средний уклон 0,6 промилле. Водосборный бассейн собирает воды с площади, равной в 7,6 тысяч квадратных километров [16].

По данным государственного водного реестра России относится к Иртышскому бассейновому округу, водохозяйственный участок реки – Теча, речной подбассейн реки – Тобол. Речной бассейн реки – Иртыш [6].

По особенностям строения долины и русла р. Течу можно разделить на 3 участка:

- 1) исток – с. Муслюмово (длина 81 км);
- 2) с. Муслюмово – устье р. Басказыка (длина 101 км);
- 3) устье р. Басказыка – устье (длина 61 км).

Основные притоки: р. Зюзелга, р. Басказык, р. Мишеляк (таблица 1).

Таблица 1 – Крупные притоки реки Теча

Название реки	Расстояние от устья, км	Берег
Шутишка	37	лв
Боровая	39	лв
Басказык	61	пр
Межевая	88	лв
Зюзелка	201	пр
Мишеляк	226	пр

Верхняя часть бассейна реки находится в горной и предгорной зоне Южного Урала, остальная – в пределах Предтургайской равнины. Водосбор вытянут в восточном направлении в виде изогнутой к югу

полосы, суженной в средней части до 20-25 км и расширенной в верховьях до 80 км, в низовьях до 60 км. Выше впадения р. Зюзелги водосбор заболочен [25]. На рисунке 1 представлена схема реки Теча и населённых пунктов на её берегах.



Рисунок 1 – Схема р. Теча и населённых пунктов на её берегах [10]

## 1.2 Тектоника, геология и рельеф

Типично равнинный рельеф, расположен к востоку от тектонического отступа, служащего восточной границей Зауральского пенеблена.

В горной части бассейн сложен кристаллическими сланцами, гранитами, гнейсами и зеленокаменными туфами, в равнинной части грунты суглинистые [25].

Река протекает по Западно-Сибирской низменности, которая состоит из двух ярусов. Нижний ярус представляют древнейшие (палеозойские) породы, которые погружены на глубины и смяты в складки. Верхний ярус представлен мощным покровом почти горизонтально залегающих позднейших отложений: внизу – морских, вверху – континентальных (из песчаников, глины, галечника, рыхлого песка, аллювиальных отложений в долинах рек и т.д.).

Низменность слабо наклонена на северо-восток, понижаясь от 190 м (уступ) до 130 м над уровнем моря у восточной границы области. Водораздельные пространства плоские, повышения и понижения пологие, колебание высоты не превышает 20 м. В котловинах и впадинах много озер. Дно их блюдцеобразное, они неглубокие, часто меняют свои очертания, так как в засушливые периоды быстро мелеют, а во влажные снова наполняются водой. Широкие и плоские долины немногочисленных рек (Синара, Теча, Миасс и другие) являются более молодыми, чем долины тех же рек на возвышенной равнине, расположенной к западу.

Огромные накопления осадочных пород (от 1000 до 3000 м), которые сгладили все неровности рельефа, заложенные в палеозойском складчатом фундаменте, придав ему форму абсолютно плоской равнины можно объяснить тем, что Западно-Сибирская низменность в мезозое и начале кайнозоя чаще была морским бассейном, чем сушей. Такие условия сгладили все неровности рельефа, заложенные в палеозойском складчатом фундаменте, придав ему форму абсолютно плоской равнины [10].

### **1.3 Климат**

Климат бассейна реки, в основном расположенного в пределах Зауральской лесостепной зоны, умеренно теплый, с достаточно холодной и снежной зимой. Постоянный снежный покров образуется 15-18 ноября и сохраняется 145-150 дней. Высота снежного покрова составляет 30-40 см, но в малоснежные зимы бывает на 10-15 см меньше. Метели наблюдаются в течение 30-35 дней, общей продолжительностью 220-270 часов. Глубина промерзания почвы колеблется от 90 до 130 см.

Средняя температура января равняется минус 15,5-17,5 °С. В суровые зимы она может опускаться до минус 25-29 °С (1969, 1972 гг.), а в отдельные годы средняя температура января равнялась минус 8-9 °С (1949, 1971, 1983, 2002 гг.). Абсолютный минимум температуры воздуха достигал минус 42-49 °С. Средняя температура воздуха в июле равняется

плюс 18-19 °С. Годовое количество осадков равняется 410-450 мм. Наибольшее количество осадков приходится на июль. Дождливый был июль 1915, 1957, 1961 и 1994 гг. – выпало 180-215 мм. Сухим оказался июль 1914, 1958, 1989 и 1995 гг. – сумма осадков составила 7-12 мм [11].

Половодье проходит обычно в апреле. Наибольшая интенсивность подъема уровней воды во время половодья составляет 30 см/сек, наибольшая интенсивность спада 70 см/сутки. Меженные уровни неустойчивы. Колебания их в году довольно резкие, но незначительные, 20-50 см. Дождевые паводки не характерны для реки Теча.

По средним многолетним данным сезонное распределение стока в процентах составляет следующие значения: весна – 50,1%, лето – 26,3%, осень – 8,6%, зима – 15,0% [16].

#### **1.4 Почвенно-растительный покров и животный мир**

Почвенный покров по повышениям представлен темно-серыми и серыми, а в понижениях лугово-черноземными почвами, встречаются выщелоченные почвы. Степень загрязнения пойменных почв радионуклидами зависит от концентрации их в воде и типа пойменных ландшафтов [25]. Содержание радионуклидов в почвах поймы уменьшается вниз по течению реки, а также в продольном сечении поймы. Максимальное содержание радионуклидов в почве наблюдается в непосредственной близости (1-2 м) от уреза воды. Соотношение Sr-90 и Cs-137 с расстоянием уменьшается в 3-4 раза [12], что объясняется осаждением радиоактивных элементов в пойму реки.

Горная и предгорная части бассейна покрыты смешанным лесом (ель, сосна, береза). В нижней половине водосбора растительность представлена лесостепью. На фоне степи встречаются березово-осиновые колки. На широких, плоских междуречных пространствах сосредоточены многочисленные озера размером от нескольких га до 55 км<sup>2</sup>, а также болота. [25]. Для этой территории характерна лесостепная растительность:

березовые леса чередуются со степями. Иногда встречаются сосны. На бывших распаханых полях восстановилась естественная растительность. Погибшие после аварии деревья уже восстановились в полном объеме.

Постановлением Совета Министров РСФСР 26 июня 1966 был создан Восточно-Уральский заповедник. На его территории встречаются 455 видов растений, причем четыре вида занесено в Красную книгу. Это Венерин башмачок, саранка, прострел весенний и лилия. Интересно, что редкие растения стали встречаться в 5-10 раз чаще, чем до закрытия этой зоны для посещения.

Широко представлен кустарниковый ярус: шиповник, боярышник, черемуха, калина, крушина и черная смородина. В Бродокалмакском заказнике произрастает горицвет весенний – растение, занесенное в Красную книгу. Болотные сообщества связаны с побережьями озер и имеют в большинстве случаев тростниковый характер. По мере удаления от болот заросли тростника переходят в ивняки.

В Бродокалмакском заказнике обитают популяции куропаток и тетерева, а также кроншнеп. Заказник стал домом для насекомых: красотка-девушка, красотка блестящая, подалирий, обыкновенный махаон и светляк. Наиболее распространенными животными на территории заказника являются: лисица, куница, горностай, енотовидная собака, ондатра, барсук, заяц-беляк, кабан, косуля и лось. Реже можно встретить степного хорька и рысь. На озерах и болотах Бродокалмацкого заказника гнездится более 30 видов водоплавающих птиц, наиболее многочисленные из них: утка серая, чирок-свистунок, чирок-трескунок, кряква, нырок красноголовый, лысуха [3].

### **1.5 Гидротехнические сооружения**

Для того, чтобы остановить поступление жидких радиоактивных отходов в р. Теча и локализовать наиболее сильные загрязненные участки поймы верховья реки в 1956 и 1964 гг. были сооружены водоёмы В-10 и В-

11 и грунтовые плотины П-10 и П-11. В этот же период времени для перехвата поверхностного стока и снижения подземной фильтрации вдоль правого и левого берегов водоёмов В-10 и В-11 были проложены левобережный (ЛБК) и правобережный (ПБК) обводные каналы. ТКВ создавался для приема и хранения низкоактивных ЖРО и как первый этап радиационной реабилитации реки Теча. В настоящее время ТКВ представляет собой сложный, изолированный от открытой гидрографической системы гидрогеологический природно-техногенный объект – хранилище загрязненной радионуклидами воды с суммарным объемом около 350 млн. м<sup>3</sup> – состоящий из четырех водоёмов и плотин, системы обводных каналов и ряда гидротехнических сооружений (ГТС) [23]. На рисунке 2 представлена схема ТКВ.

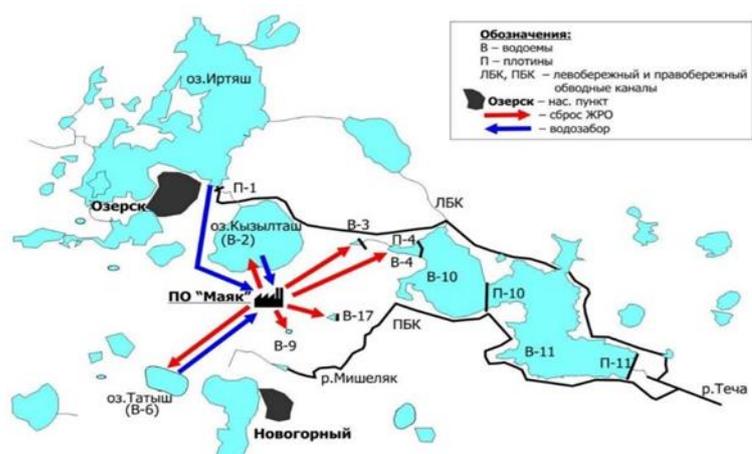


Рисунок – 2 Теченский каскад водоёмов [15]

Река Теча имеет переправы в Муслимово, Озерске, Бродокалмаке, Лобаново, Бугаево, Бисеровой, Першинском, Ключевском, Затеченском. Реку также пересекает трасса М-5 (недалеко от пруда Метлинского).

В селе Муслимово на рубеже XIX-XX веков выстроили водяную мельницу братья Злоказовы. Здание мельницы сложено из кирпича и бутового камня. Толщина массивных стен в нижней части от 1,5 до 2,4 метра. В некоторых местах видны остатки деревянных перекрытий. Часть фронтона и угол здания мельницы разрушены [13]. Злоказовы – уроженцы

Каслей, начинавшие свой путь от простых крестьян, получивших свободу с отменой крепостного права в 1861 году, к концу XIX века являлись грандами уральского бизнеса, основателями крупной торгово-промышленной компании Урала "Братья Злоказовы" [9].

В селе Бродокалмак расположены 2 автомобильных моста через реку, а также подвесной пешеходный мост. От водяных мельниц остались запруды, котлованы, большие камни. На рисунке 3 представлена плита от старого моста.



Рисунок – 3 Плита от старого моста в с. Бродокалмак.

В связи со стеснением пойменных потоков подходами к мосту в паводковый период меняется бытовой режим реки. Перед мостом уровни воды повышаются за счет подпора.

### **Выводы по 1 главе**

Река Теча до 1949 г. вытекала из оз. Иртяш в Челябинской области. В настоящее время берёт начало от плотины водоёма В-11, зоны впадения левобережного и правобережного отсечных каналов и Асановских болот, впадает в р. Исеть – р. Обь. Длина реки при выходе из оз. Иртяш 243 км, падение реки 145 м, средний уклон 0,6 промилле. Основные притоки: р. Мишеляк, р. Зюзелга, р. Басказык.

Верхняя часть бассейна реки расположена в горной и предгорной зоне Южного Урала, остальная – в пределах Предтугарской равнины. Водосбор вытянут в восточном направлении в виде изогнутой к югу полосы. Выше впадения реки Зюзелги водосбор заболочен.

Рельеф типично-равнинный. Бассейн в горной части сложен кристаллическими сланцами, гранитами, гнейсами и зеленокаменными туфами, в равнинной части грунты суглинистые.

Климат бассейна реки, в основном расположенного в пределах Зауральской лесостепной зоны, умеренно теплый, с достаточно холодной и снежной зимой. Колебания меженных уровней в году довольно резкие, но незначительные, 20-50 см. Для реки Теча не характерны дождевые паводки.

Почвенный покров представлен темно-серыми и серыми, лугово-черноземными почвами, также встречаются выщелоченные почвы. Горная и предгорная части бассейна покрыты смешанным лесом. В нижней половине водосбора растительность представлена лесостепью. На фоне степи встречаются березово-осиновые колки. Широко представлен кустарниковый ярус. Животный мир представлен такими видами, как ондатра, куропатки, тетерева, заяц-беляк, лисица, утка серая, кряква. В реке водится рыба: карась, окунь, чебак, щука, пескарь.

## **ГЛАВА 2. РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕКИ ТЕЧА И ОЦЕНКА РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕСТНОСТЕЙ В ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ**

### **2.1 История радиоактивного загрязнения Челябинской области**

Территория Челябинской области исторически стала местом реализации отечественной ядерной программы. В послевоенный период на территории были построены и введены в эксплуатацию первые в Советском Союзе уникальные ядерные объекты. На комбинате № 817, который позднее стал называться производственным объединением «Маяк», в июне 1948 г. начал наработку оружейного плутония первый в Европе промышленный атомный реактор, а в январе 1949 г. в строй действующих вступил радиохимический завод.

Ещё на стадии проектирования и строительства реакторного и радиохимического заводов в Челябинске-40 учёные и специалисты отдавали себе отчёт в том, что атомная промышленность, как и любая область человеческой деятельности, будет порождать свои отходы. Причём отходы радиоактивные, биологически и технически вредные вещества, опасные для окружающей среды, здоровья человека. Отличительной особенностью радиоактивных отходов (РАО) от других является то, что их невозможно уничтожить в результате химических или механических процессов. Их радиоактивность снижается только путём естественного распада, длящегося нередко десятилетия и даже тысячи, миллионы лет [19].

Многолетняя деятельность производственного объединения "Маяк" (г. Озерск), сопровождалась беспрецедентными в мировой практике радиационными инцидентами и авариями, что обусловило радиоактивное загрязнение части территорий не только Челябинской, но также Свердловской и Курганской областей.

В 1945 году Правительство СССР приняло ряд кардинальных решений, направленных на разработку государственной программы создания новой отрасли промышленности, предназначенной для производства собственного ядерного оружия.

Создание нового производства было определено постановлением СНК СССР № 3007-892 от 1 декабря 1945 года, которое утвердило площадку под строительство завода № 817 (первое название предприятия) [17].

Чрезвычайно высокие темпы создания новой, не имеющей технических аналогов отрасли промышленности, строительства и ввода в эксплуатацию новых производств, разработки уникального технологического оборудования, отсутствие научных знаний и технологического опыта обусловили серьезные проблемы в области охраны окружающей среды и здоровья человека [17].

Место для промышленной площадки будущего производства было выбрано на Южном Урале, в 70 км севернее города Челябинска, в районе городов Кыштым и Касли (рисунок 4).

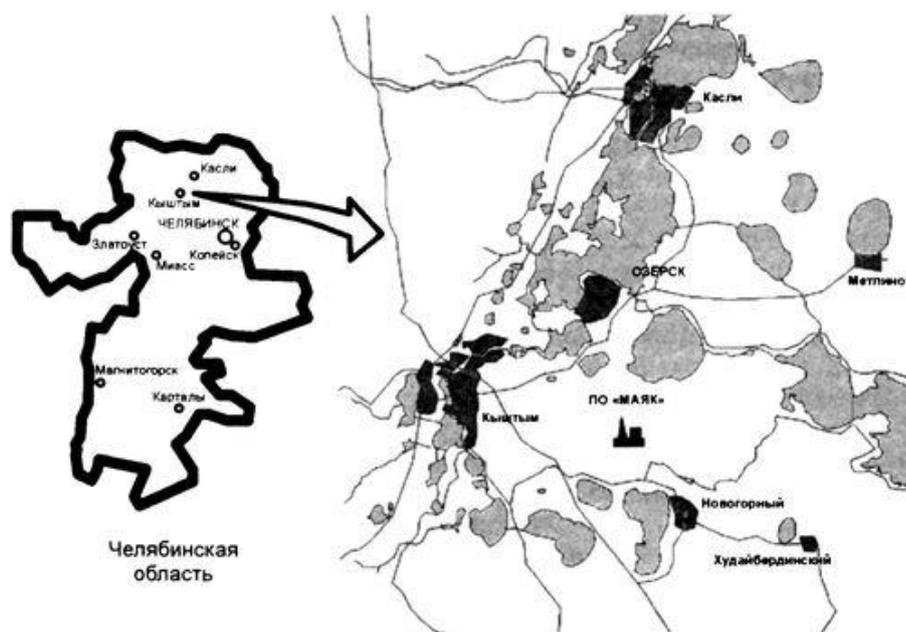


Рисунок 4 – Географическое расположение ПО «Маяк» [28]

За очень короткий срок – примерно за 2, 5 года – на заводе, который позднее стал называться производственным объединением «Маяк», были построены и введены в эксплуатацию уникальные производства.

В июне 1948 года первый в Евразии промышленный реактор для наработки плутония достиг проектной мощности. В сентябре подготовлен к пуску, а в январе 1949-го начал работать радиохимический завод по выделению и переработке плутония с атомного реактора. В 1949 году был изготовлен первый ядерный заряд на химико-металлургический заводе.

В сентябре 1949 года было проведено первое испытание атомной бомбы, а в августе 1950-го – испытание термоядерного оружия.

В 1949 году на предприятии было начато производство радиоизотопов. В 1957 году началось строительство завода по производству источников ионизирующего излучения.

29 сентября 1957 года произошёл химический взрыв емкости–хранилища жидких радиоактивных отходов на радиохимическом заводе по выделению плутония. Выход из строя системы охлаждения привел к саморазогреву раствора в емкости, выпариванию его и взрыву «сухого остатка» солей. Авария 1957 не привела к остановке или прекращению производственной деятельности завода [29].

В 1977 году был введён в строй уникальный завод РТ-1, единственный в России, который обеспечивал переработку отработавшего ядерного топлива АЭС, транспортных и исследовательских реакторов. 29 марта 1977 года на завод РТ-1 поступила первая тепловыделяющая сборка.

В 1979 году произведён энергетический пуск легководного реактора «Руслан», а 31 декабря 1987 года успешно завершён физический пуск тяжеловодной реакторной установки ЛФ-2 («Людмила»).

В 1987 году введён в эксплуатацию цех остекловывания радиоактивных отходов. В период с 1991 по 2004 годы эксплуатируется печь ЭП-500 по остекловыванию высокоактивных отходов, за время

работы переведено в безопасные формы хранения более 440 млн Ки радионуклидов.

В 1984 году постановлением Совета Министров СССР принято решение о строительстве Южно-Уральской АЭС. После распада СССР, в 1992 году финансирование строительства прекратилось.

С 1987 года на радиохимическом заводе № 235 поэтапно прекращено производство оружейного плутония.

В 1991 году остановлен последний уран-графитовый реактор на комбинате.

С 1995 по 2003 гг. велось строительство РХДМ (Российского хранилища делящихся материалов).

В настоящее время федеральное государственное унитарное предприятие «ПО «Маяк»», одно из крупнейших предприятий Федерального агентства по атомной энергии, – действующий и развивающийся производственный комплекс, включающий 7 основных заводов и 16 обеспечивающих подразделений, на которых трудится более 14 тысяч человек. ФГУП «ПО «Маяк»» – градообразующее предприятие ЗАТО Озёрск (старое название – Челябинск-65) [28].

## **2.2 Оценка радиэкологического загрязнения местностей в районе р. Теча в Челябинской области**

Загрязнение реки Теча произошло в результате санкционированного и аварийного сброса жидких радиоактивных отходов реакторов ПО «Маяк» в открытую гидрографическую сеть. В 1949-1951 годах была сброшена основная масса радиоактивных нуклидов (около 12 ПБк стронция-90, 13 ПБк цезия-137, 106 ПБк короткоживущих радионуклидов). В период с 1951 по 1956 годы интенсивность сбросов активности в речную систему снизилась в 100 раз, а после 1956 года среднеактивные отходы стали поступать в открытую гидросеть в небольших количествах. Тем не менее, за период с 1949 по 1956 годы в экосистему реки Теча попало

порядка 76 млн.м<sup>3</sup> сточных радиоактивных вод, общей активностью по бета-излучению 2,75 МКи. [16].

Из всего количества сброшенных в открытую гидрографическую сеть техногенных радионуклидов, около 75% задерживалось в болотистой пойме и донных отложениях в верховьях реки. Наибольшая аккумуляция радионуклидов в верховье реки объясняется наличием там заболоченной поймы, в которой имеются значительные торфяные отложения с максимальной сорбционной емкостью по сравнению с суглинками и супесями, характерными для более узкой поймы среднего и нижнего течения.

Водно-балансовые расчеты, осуществленные специалистами ПО «Маяк», показывают, что в условиях установившейся в регионе положительной водности из консольного водоема ТКВ происходит фильтрация воды через тело плотины-11 и боковые дамбы, через ЛБК и ПБК [16].

Сбросы в открытую гидрографическую практически прекратились в 1956 году. Около 80% всей площади поймы реки, на которой было аккумулировано до 98% всей активности радионуклидов, депонированных в пойменных и русловых наносах, было изолировано путем создания каскада водоемов. В 1956 году долина была перекрыта глухой плотиной, и поступление радиоактивных веществ в нижележащие участки реки сократилось до уровней около 0,5 Ки/сутки. Строительство еще одной плотины в 1963-1964 году почти полностью изолировало гидрохимические объекты предприятия, при этом образовался Теченский каскад водоемов (ТКВ) [2]. Теченский каскад водоёмов (ТКВ) представляет собой относительно замкнутую систему из четырёх водоёмов («В-3», «В-4», «В-10», «В-11») и каналов, в которых отстаиваются низкоактивные жидкие радиоактивные отходы и осаждаются на дне нерастворимые в воде частицы, в том числе радиоактивные, образовавшиеся в ходе работы комбината «Маяк» [26].

Загрязнение реки возможно и в настоящее время. Возможными вариантами поступления радиоактивных элементов в реку являются: затопление поймы, выход радионуклидов на поверхность, пожары в пойме и уход газов в атмосферу, радионуклиды из озера Карачай, которые с грунтовыми водами, кроме реки Течи, переносятся в Теченский каскад водоемов (ТКВ).

Загрязнение пойменной почвы носит крайне неравномерный характер и зависит от рельефа местности. Максимальные значения плотности загрязнения наблюдаются на пониженных (затопленных) участках поймы, вблизи русла реки (1-50 м от уреза воды), с удалением от плотины водоема плотность загрязнения поймы снижается [16].

Радиоактивное загрязнение воды в реке Теча в настоящее время обусловлено в первую очередь стронцием-90. До 80-85% радиоактивных веществ в речной системе мигрирует в растворимой форме. До 95% содержания стронция-90 находится в форме растворимых соединений. В результате этого, донные отложения в пойме загрязнены стронцием-90 на всем протяжении реки.

Миграция стронция-90 в водной экосистеме определяется закономерностями распространения растворимых форм. Донные отложения поймы, загрязненные в первые годы работы комбината, играют роль буфера, который регулирует вынос изотопа и поддерживает среднегодовую его концентрацию на уровне 14-18 Бк/л. Стронций-90 в реке Теча хорошо растворим, более подвижен, чем цезий-137, его концентрации в воде на два порядка величины выше и высокие концентрации изотопа фиксируются на всем протяжении реки. При увеличении поступления чистой (нерадиоактивной) воды в реку Теча, в верхнем течении увеличиваются процессы десорбции стронция-90, что приводит к повышению его концентрации вниз по течению [2].

Цезий-137 обладает свойством сорбироваться на взвеси и аккумулярован, в основном, в верховьях реки.

С 1996 г. по 2004 г. фиксируемая концентрация Cs-137 в створе воде в селе Бродокалмак не превышала 1 Бк/л, что на порядок ниже величины уровня вмешательства (УВ) по НРБ-99 для данного изотопа (11 Бк/л).

На рисунке 5 представлены минимальные, средние и многолетние концентрации стронция-90 в воде реки Теча в 4 контрольных створах, расположенных в пределах Челябинской области. Средние многолетние концентрации по контрольным створам варьируют на уровне 11-15,5 Бк/л, что в 2,2-3,1 раз выше УВ по НРБ-99. Более низкие значения содержания стронция-90 в воде наблюдаются в период весеннего половодья (апрель-май), более высокие – в основном в период зимней межени [16].

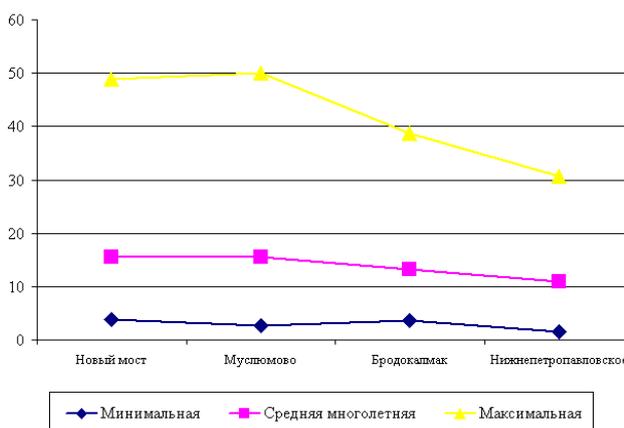


Рисунок – 5 Средние многолетние, максимальные и минимальные концентрации Sr-90 в воде р. Теча в 4 контрольных створах [16]

Показатели радиоактивного загрязнения снижаются по мере удаления от места сброса, что объясняется осаждением радиоактивных элементов, разбавлением чистой водой. В участках впадения притоков наблюдается снижение Cs-137 и Sr-90 в пойме реки. По левому берегу, ниже сёл Бакланово и Лобаново имеются выходы ключей.

## 2.3 Исследование гидроэкологического и радиологического состояния р. Течи и речной долины на участке с. Бродокалмак

### 2.3.1. Методика и материалы исследования

Нами в летне-осенний период 2020 г проводились гидрологические измерения на участке русла реки Теча (промеры глубин, поперечный

профиль левого берега, скорость течения и др.; данные этих измерений приведены в разделе: Разработка учебно-экологической тропы по участкам реки Теча (проектная деятельность).

Нами 28 июня 2021 года проводились изучение гидрофизических и гидрохимических параметров, а также радиометрические измерения воды, донного грунта структурных элементов речной долины р. Теча с помощью радиометра РКСБ-104. Отобранные пробы воды в дальнейшем были проанализированы лабораторией поверхностных вод Челябинского государственного университета по комплексу аттестованных методик РД.52.24 -...-2005.

### 2.3.2 Результаты исследований

Окраска воды слабо-желтоватая, вода прозрачная (более 30 см по шрифту Снеллена). Концентрация основных ионов в целом соответствует местному геохимическому району, при слабом стоке реки она несколько повышенная. Воды гидрокарбонатного класса группы кальция сульфатно-натриевого (II) типа. Воды жесткие. (таблица 2).

Таблица 2 – Концентрация основных ионов, мг/л и мг\*экв./л [7]

НСО <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Ca	Mg	Na+K	Σ ионов
333	110,0	116,6	72,1	49,8	83,3	764,8 С
5,46	2,29	3,28	3,6	4,1	3,33	Ca/II-III

В условиях низкой скорости течения взвешенные вещества находятся в малых концентрациях. При этом наблюдается весьма высокая окрашенность и цветность воды (таблица 3).

Таблица 3 – Взвешенное минеральное и органическое вещество [7]

Взвешенные вещества, мг/л	Цветность, град	Перманганатная окисляемость, мгО/л	ХПК, мгО/л
6,0	83	7,52	29,5

В водах отмечено относительно небольшое количество органики (по ХПК и перманганатной окисляемости).

Отмечено несколько повышенные концентрации меди. Обращают на себя внимание пониженные концентрации марганца. Вероятно, высокая

степень зарастания русла реки макрофитами обеспечивает значительное вовлечение марганца в биологический круговорот (таблица 4).

Таблица 4 – Микроэлементы в воде, мг/л [7]

Fe общ	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd
0,05	0,006	0,055	0,008	0,0007	0,011	0,0008

Из биогенных веществ анализировались соединения минерального азота (азот аммонийный, азот нитритный, азот нитратный) и фосфор общий (рисунок 6).

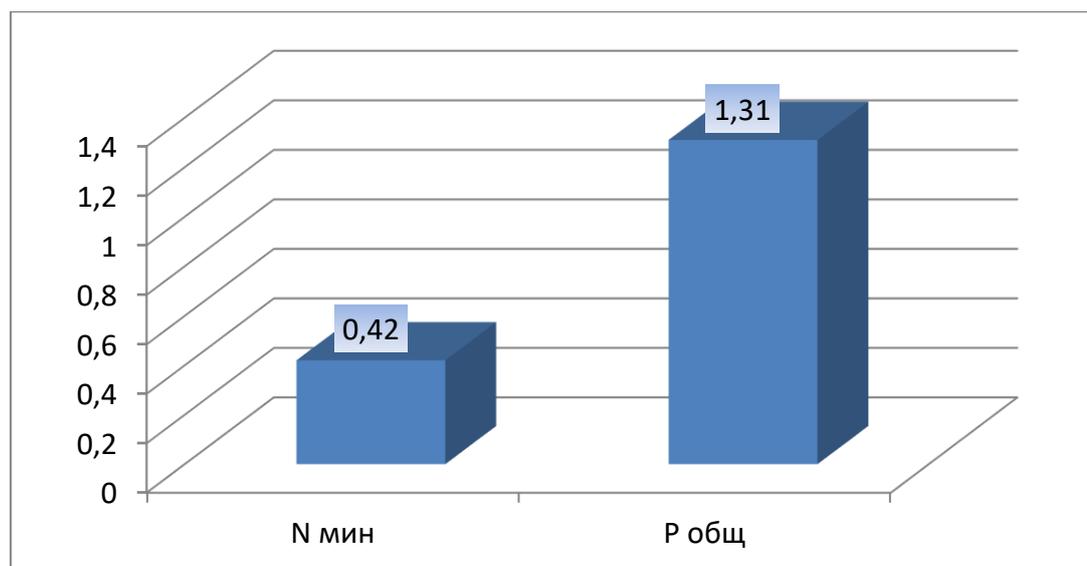


Рисунок 6 – Концентрация биогенных веществ (соединений азота минерального и фосфор общий) в воде р. Теча, мг/л [7]

Нами обнаружены очень высокие концентрации общего фосфора – 1,31 мг/л. Весьма вероятно, это воздействие несанкционированных сбросов неочищенных сточных вод и иных отходов от местной птицефабрики, обнаруженное общественностью с. Муслюмово летом 2021 (от Муслюмово до Бродокалмака по течению реки – 28-29 км). Высокое содержание соединений фосфора отражается на интенсивном развитии речного фитопланктона (рисунок 7) [7].



Рис 7 – Зарастание и «цветение» вод реки Теча вследствие значительного поступления биогенных веществ (фото С.Г. Захарова)

## **2.4 Возможные методы реабилитации**

Восстановление рек и водоемов – совокупность прикладных научных исследований и организационно-технических мероприятий, направленных на восстановление нормального функционирования водных экосистем, нарушенного вследствие эксплуатации природных ресурсов или загрязнения производственными отходами водных объектов суши и их водосборов [4].

Реабилитация – долгосрочный проект, предполагающий увеличение пропускной способности и восстановление экосистемы водоема до естественного уровня.

В настоящее время, когда водные объекты и их водосборы подвержены значительному антропогенному воздействию, восстановление следует понимать не как возврат экосистемы к ее начальному состоянию в далеком прошлом, а прежде всего, как снижение антропогенной нагрузки на водоем, удаление биогенных и загрязняющих веществ, повышение самоочищающей способности.

К восстановительным мероприятиям на реках можно отнести следующие: устройство устойчивых меандров с регулярным чередованием плесов и щелей, установка на притоках селеуловителей, наноловушек и небольших дамб для перехвата повышенного стока наносов при

восстановлении растительного покрова на мелиорированных участках территории бассейна, восстановление прибрежной растительности.

Реабилитация по участкам рек имеет различия. В верховьях рек подверженных антропогенному воздействию обычно располагают водоочищающие сооружения – плотины, которые исключают проникновение загрязняющих веществ в открытую гидрографическую сеть.

В среднем и нижнем течении располагают водохранилища-биоотстойники, проводят берегоукрепительные работы, залужение прилегающей территории, высадку древесной и кустарниковой растительности.

Положение и состояние водных объектов во времени и пространстве постоянно изменяются. Понятие «окончательное состояние водного объекта» не существует.

Для предотвращения размыва зоны береговых склонов, которые при разрушение могут привнести в воды дополнительные радиоактивные частицы, целесообразно применять берегоукрепительные работы. Более пологие береговые склоны укрепляют железобетонными плитами тюфяками. Между разными типами крепления по высоте сооружают склона промежуточные бермы, а в подошве крепления – упоры.

Наибольшее распространение получили железобетонные плиты. Каменные крепления применяют при наличии на месте камня. Опояски устраивают методом отсыпки каменных материалов непосредственно в воду без предварительной подготовки откоса. Для защиты надводной зоны береговых склонов чаще применяют биологические приемы, включающие их залужение и посадку древесно-кустарниковой растительности. Это может помочь оградить опасную зону от жителей населенных пунктов, находящихся вблизи реки.

Прибрежная растительность успешно выполняет функции по укреплению береговых склонов, препятствует стоку поверхностных вод,

ослабляет эрозионные процессы. Для закрепления береговых склонов от разрушений высаживают ивовые породы деревьев, которые укрепляют почву образующейся корневой системой. Растущие по берегам водоемов ивы различаются по своим особенностям и требованиям, предъявляемым к условиям произрастания. Посадка пород ивы, соответствующих условиям данной местности, обеспечивает создание жизнеспособных и долговечных зарослей [4].

Для реабилитации радиоактивных загрязненных рек можно применять такие методы, как изоляция донных отложений, усиление проточности и разбавление чистой водой, берегоукрепительные работы и т.д.

Андреевым А.В. были предложены 2 способа очистки воды в загрязненном радиоактивными изотопами естественном водоеме от радиоактивного загрязнения.

Первый способ предполагает использование минерального барьера, в качестве минерального барьера используют плотину, установленную в русле проточного водоема поперек течения, плотину выполняют ступенчатой, а на ступени укладывают глауконитовый песок.

Пример. В русле реки Теча, глубина которой составляет 5-10 м, на расстоянии 7 км от ПО "Маяк" установили четырехступенчатую плотину с шириной ступеней 7 м. Ступени направлены снизу-вверх. Плотина выполнена подковообразной. На ступени нанесли слой глауконитового песка толщиной в 1,5 м. От верхней ступени до поверхности воды расстояние в 0,5 м. Вода, проходя от нижней ступени до поверхности воды, вынуждена проходить через глауконитовый песок, являющийся природным сорбентом радиоактивных изотопов, и при этом очищается. По мере загрязнения глауконитовый песок убирают со ступеней любым известным из уровня техники способом и захоранивают, а на ступени плотины укладывают свежие порции глауконитового песка [21].

Второй способ очистки воды предполагает внесение на поверхность водоема природного сорбента, в качестве сорбента используют глауконитовый песок, который вносят в период ледостава, затем в последующий период ледостава поверхность водоема покрывают слоем глины, повторяя эти операции до достижения степени очистки воды в водоеме, соответствующей предельно допустимой концентрации (ПДК).

Предлагаемый способ осуществляют следующим образом. Во время ледостава на поверхность водоема, зараженного радиоактивными изотопами, например, стронция 90, 89, цезия-137, любым известными способом наносят слой в 30-50 см глауконитового песка. Во время таяния льда глауконитовый песок попадает на дно водоема и путем ионообмена и сорбции извлекает радионуклиды из ила и воды. В последующий период ледостава аналогичным образом наносят на поверхность водоема слой глины в 50-70 см, и он в свою очередь погружается на дно водоема, закрывая слой глауконитового песка с извлеченными в него радионуклидами. В последующие годы в случае необходимости (анализы воды на присутствие в ней радионуклидов) эти операции повторяют до достижения степени очистки воды в водоеме, соответствующей ПДК [20].

Основные методы по восстановлению водных экосистем построены на балансовом принципе поступления веществ. В частности, можно отметить, что основной негативный эффект оказывают загрязняющие вещества, находящиеся в свободном доступе непосредственно в водной толще, поэтому многие мероприятия направлены на снижение их концентрации, и как следствие – на оздоровление.

К восстановительным мероприятиям на реках можно отнести следующие: изоляция донных отложений, ускорение процессов удаления веществ, усиление проточности и разбавление чистой водой, отвод водных масс гипolimниона, агролесомелиоративные мероприятия, биологические методы, а также засыпка чистым грунтом, берегоукрепительные работы [14].

Важен постоянный или регулярный контроль за состоянием водных объектов, за комплексом их гидрологических, гидрохимических и других характеристик и их временными и пространственными изменениями.

В случаях экологических нарушений в первую очередь их локализуют непосредственно в местах их возникновения, а затем восстанавливают утраченное экологическое равновесие за счет активизации процессов самоочищения.

## **2.5 Рекомендации по очистке и измерения гидрологических параметров на участке русла**

Нами предложен способ очистки реки Теча в среднем течении с помощью использования копани (уловителя ила). Устанавливают в русле проточного водоема поперек течения. На дно укладывают глауконитовый песок. В соответствии с одним из вариантов изобретения плотину выполняют из бетона. Также плотина может иметь подковообразную форму. Технический результат: создание простого рентабельного способа очистки воды загрязненного радионуклидами проточного водоема.

Предлагаемый способ осуществляют следующим образом. Подготовительный этап: увеличение скорости течения для поднятия частиц со дна и дальнейшего переноса в уловитель ила путем засыпки части русла с двух берегов. Данное мероприятие позволит изолировать часть загрязненной поймы (высев трав на новой деятельной поверхности снизит загрязнение молока у крупного рогатого скота местных жителей); увеличит скорость течения и перенос загрязненного донного грунта ниже по течению на участок перехвата [8]. Возле населенного пункта устанавливают копань (уловитель ила), выполненную из бетонных плит. Ширина 10 м, длина 20 м, высота 1 м, параметры зависят от данного участка. Копань устанавливают поперек течения, ее форма может быть подковообразной (рисунок 8).

По мере загрязнения ил убирают со дна копани и захоранивают, а на дно укладывают свежие порции глауконитового песка.

Использование предлагаемого способа очистки проточного водоема от радиоактивных изотопов позволяет решить задачу очистки реки Теча возле населенных пунктов сравнительно простым, надежным, недорогим способом.

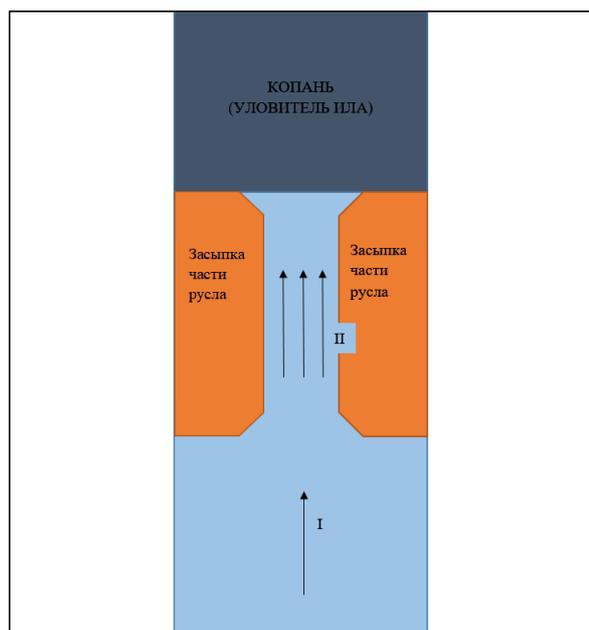


Рисунок 8 – Принципиальная блок-схема предложенной системы очистки

От моста 1 в пределах русла необходимо удаление высшей водной растительности для установления конструкции на 2/3-3/4 перекрывающей русло. Рекомендуется сдвигать конструкцию раз в 3-4 года на дистанции 100-200 метров или возможно установление нескольких таких ловушек на протяжении всего населенного пункта, находящегося возле реки.

В июне 2021 года нами проводилось измерение МЭД на различных участках левобережной поймы (высокой и низкой) на протяжении 500 м в окрестностях н. п. Бродокалмак, в т.ч. в зоне отсыпки крупно-глыбовым скальным грунтом (таблица 5). Бывшая низкая пойма сейчас расположена на отметке 1-2 м от уреза воды, она не затапливается даже в сильное половодье. Для измерений применялся радиометр РКСБ-104.

Таблица 5 – Мощность экспозиционной дозы, мкР/ч

Водная поверхность, р. Теча	Донный грунт и тина	Низкая пойма	Высокая пойма	Зона отсыпки на низкой пойме
24	47	234 – 240	49 – 54	24-27

Кроме того, нами обращено внимание, что промоины в зоне низкой поймы имели пониженную МЭД – 113-123 мкР/ч; также пониженную МЭД имели и возвышения (островки) на низкой пойме – 94-96 мкР/ч.

В зоне отсыпки скальным грунтом (толща – около 1 м) (рисунок 10) снижение МЭД достигает 88-90% от загрязненной низкой поймы.

Наивысшая загрязненность, отмеченная нами, находится в зоне низкой поймы. На территории высокой поймы радиометр отметил 54 мкР/час, на нижней пойме показатели в несколько раз выше, среднее значение 240 мкР/час, что превышает безопасную дозу для человека почти в 5 раз (для постоянного нахождения – в 12 раз).

Исходя из проведенных нами исследований, рекомендуется продолжить работы по засыпке низкой поймы скальным грунтом, это даёт 90% снижения мощности экспозиционной дозы. Засыпку осуществлять вровень с высокой поймой. Также, возможно установление колючей проволоки или бетонных плит, что будет препятствовать прохождению человека, скота.

Для реабилитации реки Теча предлагаются методы, направленные на очистку воды, прибрежных территорий, донных отложений. В настоящее время выполнена работа по реабилитации определенных участков поймы (рисунок 9). Ширина засыпки около 30 метров.



Рисунок 9 – Засыпка поймы реки вблизи с. Бродокалмак

Также осенью 2020 года ФГУП «ПО «Маяк» были установлены предупреждающие информационные аншлаги, ограничивающие природопользование в пределах речной долины реки (рисунок 10).



Рисунок 10 – Информационный предупреждающий знак возле реки Теча

Степень загрязнения пойменных почв радионуклидами зависит от концентрации их в воде и типа пойменных ландшафтов. Содержание радионуклидов в почвах поймы уменьшается вниз по течению реки, а также в продольном сечении поймы. Максимальное содержание радионуклидов в почве наблюдается в непосредственной близости (1-2 м) от уреза воды. Соотношение Sr-90 и Cs-137 с расстоянием уменьшается в 3-4 раза [1].

## Выводы по 2 главе

Исходя из имеющейся информации, можно вывести следующие основные закономерности распределения радиоактивности:

1. Основное загрязнение реки техногенными радионуклидами произошло в период с 1949 по 1956 годы.
2. Стронций-90 и цезий-137 являются основными дозообразующими радионуклидами в экосистеме реки Теча.
3. Цезий-137 – в основном сорбирован в пойменных почвах в верхнем течении реки, его концентрации в воде низкие, менее 1 Бк/л.
4. Стронций-90, находясь в хорошо растворимой форме, обуславливает загрязнение на всём протяжении реки вплоть до ее впадения в р.Исеть [2].

Среднегодовая активность радионуклидов стронция-90 и цезия-137 в среднем течении реки имеют тенденцию к снижению.

Поступление радионуклидов в р. Теча в настоящее время осуществляется в результате фильтрации через плотину водоёма В-11. Вторичное поступление радионуклидов возможно при взмучивании донных отложений, затоплении поймы, пожарах в пойменной части реки и уходов газов в атмосферу. Также представляет угрозу озеро Карачай, в котором радионуклиды могут попасть с грунтовыми водами в реку, а также в Теченский каскад водоёмов (ТКВ).

Сделаны замеры глубин, а также построен поперечный профиль левого берега реки. Максимальная глубина наблюдается у правого берега – 1,4 м. Дно неровное, есть резкий обрыв в 3 метрах от правого берега.

Были получены данные о ширине реки, равной 11,4 м у моста возле с. Бродокалмак, о площади поперечного сечения – 9,44 м<sup>2</sup>, а также вычислен расход воды, который равен 0,94 м<sup>3</sup>/с.

Нами были изучены гидрофизические и гидрохимические параметры реки Теча. Концентрация основных ионов в целом соответствует местному

геохимическому району. Воды гидрокарбонатного класса группы кальция сульфатно-натриевого (II) типа. В водах отмечено относительно небольшое количество органики. Отмечено несколько повышенные концентрации меди, а также пониженные концентрации марганца. Обнаружены очень высокие концентрации общего фосфора – 1,31 мг/л. Вероятно, это воздействие несанкционированных сбросов неочищенных сточных вод и иных отходов от местной птицефабрики.

Для реабилитации радиоактивных загрязненных рек можно применять такие методы, как изоляция донных отложений, усиление проточности и разбавление чистой водой, берегоукрепительные работы и т.д.

Для реки Теча нами был предложен метод, направленный на очистку воды, прибрежных территорий, донных отложений. Также зафиксированы величины радиационного излучения на территории высокой и низкой пойм, моста. Самый высокий показатель отмечен в 242 мкР/час на низкой пойме.

## **ГЛАВА 3. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ**

### **3.1 Разработка внеурочного мероприятия в рамках школы**

Тема внеурочного мероприятия: «Конференция, посвящённая вопросам экологии родного края. ПО «Маяк» и последствия радиоактивного загрязнения».

Возраст участников: 15-17 лет.

Количество игроков: 10.

Время: 60 минут.

Цели мероприятия: познакомить с последствиями деятельности ПО «Маяк»; способствовать формированию познавательного интереса и экологической ответственности обучающихся к природе родного края.

Задачи мероприятия:

1. Образовательные: создать условия для усвоения обучающимися знаний о радиоактивности; сформировать понятия: радиационное загрязнение, реабилитация реки.

2. Развивающие: способствовать развитию у обучающихся интеллектуальных умений – развитие мышления с помощью выполнения заданий, вопросов разного уровня сложности, умения выдвигать предположения. Развитие мотивации учения за счет введения в учебный процесс интересных фактов.

3. Воспитательные: воспитывать на уроке чувства положительного отношения к получению знаний, интереса к открытиям, самоконтроля и дисциплины.

4. Личностные: формирование ответственного отношения к учению, готовности и способности обучающихся к саморазвитию и самообразованию на основе мотивации к обучению и познанию, осознание ценности географических знаний, как важнейшего компонента научной картины мира.

### Планируемые результаты обучения:

1. Личностные: ценностное отношение к умению воспринимать речь учителя, одноклассников, тренировать умение вести дискуссию; проявлять терпение и доброжелательность в споре, применять правила делового сотрудничества; ценностное отношение к совместной познавательной деятельности. Умение выступать перед большим количеством людей, отстаивать свою точку зрения.

2. Предметные: формирование понятий: радиоактивность, радиационное загрязнение, реабилитация реки; ознакомление с процессами самоочищения реки. Повторить пройденный курс, расширить представления, углубить знания по теме. Повысить интерес к предмету.

3. Метапредметные: развитие способности к самостоятельному приобретению новых знаний и практических умений; умения организовать свою деятельность, определять её цели и задачи, выбирать средства реализации цели и применять их на практике, оценивать достигнутые результаты; умение взаимодействовать с людьми, работать в паре с выполнением различных ролей, вести дискуссию и т.д.

### Формируемые УУД:

1. Познавательные УУД – формирование и развитие по средствам географических знаний познавательных интересов, интеллектуальных и творческих результатов; умение самостоятельно искать, анализировать, отбирать информацию, преобразовывать, сохранять, передавать и представлять ее с использованием технических средств.

2. Коммуникативные УУД – овладеть умениями воспринимать устную и письменную речь, умением работать в паре, учитывать мнение других людей, партнеров по общению или деятельности, создание условий для формирования умения самостоятельно организовывать учебное взаимодействие в группе.

3. Регулятивные УУД – развитие навыка самостоятельного овладения знаниями и умениями, умение высказывать собственные предположения на основе учебного материала, умение анализировать.

4. Личностные УУД – осознание себя как члена общества на глобальном, региональном и локальном уровнях; осознание важности и общей значимости глобальных проблем человечества; эмоционально-ценностное отношение к окружающей среде, необходимости её сохранения и рационального использования; ценностно-смысловая ориентация обучающихся и ориентация в межличностных отношениях.

Формы организации работы: пресс-конференция.

Оборудование: мультимедийная установка.

Подготовка к уроку начинается за две недели.

Выбор формы занятия был обусловлен возрастными особенностями обучающихся, а также открывал большие возможности для поисковой работы с различными источниками, так как данный материал в школьных учебниках недостаточно освещен.

Конференция будет проходить по этапам:

- Этап 1. Строительство ПО «Маяк» 1945 год.
- Этап 2. Запуск производства и первое загрязнение 1948-1949-51 гг.
- Этап 3. Усиленная работа производства.
- Этап 4. Авария 1957 года.
- Этап 5. Современность.

Для повышения активности деятельности обучающихся в ходе подготовки будет предложено разделиться на 2 большие группы:

- учёные-энергетики и правительство;
- экологи и медики.

На каждом этапе обучающиеся выступают с докладом, где должны быть описаны события того периода, дают краткую историческую справку. Далее происходит обсуждение и выводится общий итог.

## **Сценарий пресс-конференции**

### **Ведущий (учитель):**

В 1972 году Генеральной Ассамблеей ООН единогласно признала необходимость срочных и эффективных мер по охране и улучшению окружающей среды для блага современного и будущих поколений.

Сегодня на конференции обсуждается один из важных вопросов современности – радиоактивность и её вредное влияние окружающую среду.

В работе конференции принимают участие ученые-ядерщики и Правительство, а также биологи-экологи и представители Министерства здравоохранения.

### **Этап 1. Строительство ПО «Маяк» 1945 год.**

**Учёные-энергетики и правительство:** Спешка в строительстве. В начавшейся после Второй мировой войны ядерной гонке Советскому Союзу для создания собственной атомной бомбы был необходим оружейный плутоний.

Власти СССР принимают решение о создании завода № 817 для выпуска ядерного оружия. Секретное предприятие «Маяк» строят в городе Челябинск-40, который не обозначается на картах.

В августе 1945 после атомной бомбардировки городов Хиросима и Нагасаки создаётся специальный комитет, который должен реализовать Урановый проект. Его председателем назначают Л. П. Берия. Игорь Васильевич Курчатов являлся первым научным руководителем завод №817 (современное ПО «Маяк»).

**Экологи и медики:** Возникают первые опасения насчёт загрязнения окружающей среды, в первую очередь природных водных объектов (рек Теча и Мишеляк и озер, которые могут быть превращены в промышленные отстойники).

**Этап 2. Запуск производства и первое загрязнение 1948-1949-51 гг.**

**Учёные-энергетики и правительство:** 1 июня 1948 года в 8 часов 50 минут началась загрузка реактора рабочей продукцией – урановыми блочками.

8 июня в 00 часов 30 минут Игорь Васильевич Курчатов собственноручно осуществил физический пуск первого в Советском Союзе промышленного атомного реактора.

Первый запуск реактора «А» или как ещё его называют «Аннушка» состоялся уже 18 июня 1948 года.

Высокоактивные радиоактивные отходы принято хранить в специальных ёмкостях, а средне-и низкоактивные жидкие радиоактивные отходы сливать в реку Течу. В состав сбросов входили стронций-89 и -90, цезий-137, рутений-103 и -106, цирконий-95 и ниобий-95. Все данные засекречены.

Началось производство плутония, и первые неудавшиеся эксперименты приводят к остановке выпаривателей на заводе, а также к угрозе разрушения их из-за коррозии. Принято решение не останавливать производство, а вместо этого сбросить высокоактивные радиационные отходы прямо в реку.

Июнь 1949 года – получено необходимое количество плутония для изготовления первой атомной бомбы, которая была испытана 29 августа 1949 года

**Экологи и медики:** Начиная с 1949 по 1956 годы, в реку сброшено порядка 76 млн. м<sup>3</sup> радиоактивных отходов. Это практически уничтожает экосистему реки. Из всего количества сброшенных в открытую гидрографическую сеть техногенных радионуклидов, около 75% задерживалось в болотистой пойме и донных отложениях в верховьях реки. В апреле – мае 1951 г. сильное наводнение привело к тяжелейшему загрязнению поймы р. Течи, использовавшейся для выпаса скота и заготовки сена. Люди вынуждены были продолжать пить воду, мыться, поливать сады, ловить рыбу.

### **Этап 3. Усиленная работа производства**

**Учёные-энергетики и правительство:** В 1951 году создаётся водоём В-9, который является поверхностным хранилищем среднеактивных ЖРО.

С целью прекращения поступления ЖРО в р. Теча и локализации наиболее сильно загрязненных участков поймы верховья реки в 1956 и 1964 гг. путём возведения грунтовых плотин был сооружён ТКВ (теченский каскад водоёмов).

Июнь 1950 года – март 1966 года – введены в эксплуатацию семь реакторов для наработки оружейного плутония, последний из них был остановлен 1 ноября 1990 года.

1955 год – создан опытно-промышленный цех для производства радиоактивных изотопов.

**Экологи и медики:** В 1951 году начались мероприятия по защите населения от радиации. Однако за последние 2 года критические дозы радиации уже накопились у 23,5 тысяч человек, проживающих в 40 прибрежных населенных пунктах.

Хроническая лучевая болезнь диагностирована у 940 человек. Также в период с 1950 по 1953 родилось 1975 человек, облученных в утробе. В 50-е годы, до Кыштымской аварии, из 19 приречных населенных пунктов было переселено 8 тысяч человек, но это произошло слишком поздно. Согласно более поздним исследованиям, люди, переселенные с Течи 20-25 лет назад, все еще имели в организме повышенные дозы радиоактивного стронция-90.

В одном селе было зафиксировано заболевание хронической лучевой болезнью свыше 60% всех жителей. За все годы работы комбината 124 тысячи человек, которые проживали на Течи, были облучены. Эксперты считают, что у 3-5% развилась хроническая лучевая болезнь.

### **Этап 4. Авария 1957 года**

**Учёные-энергетики и правительство:** Катастрофа случилась 29 сентября 1957 года. Исходя из тяжести последствий, она находится на третьем месте после Чернобыльской трагедии и аварии на Фукусиме-1. Из-за нарушения системы охлаждения разрушилась ёмкость с высокорadioактивными отходами.

Большая часть радионуклидов осела вокруг хранилища, а жидкая пульпа (взвесь), активность которой составляла 2 млн Ки, была поднята на высоту 1-2 км и образовала радиоактивное облако, состоящее из жидких и твердых аэрозолей. Заражённая территория, образовавшаяся в результате последствий аварии называется «Восточно-уральский радиоактивный след».

**Экологи-медики:** От радиационного облучения только в течение первых 10 дней погибли около 200 человек, общее число пострадавших оценивается в 250 тысяч человек, авария была оценена в 6 баллов по международной семибалльной шкале.

### **Этап 5. Современность**

**Учёные-энергетики и правительство:** 2010 год – начало реализации Федеральной целевой программы «Развитие ядерного оружейного комплекса Российской Федерации на 2007-2015 годы и на период до 2020 года»

**Экологи-медики:** 2015 – завершение работ по ликвидации акватории специального промышленного водоема Карачай. Реализация мероприятий Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года».

Каждая группа высказывает свою точку зрения, отвечая на вопросы: можно ли было избежать загрязнения реки Теча, облучения населения? Какие меры реабилитации можно применить к территории, подвергшейся радиационному загрязнению? Какие могли быть ещё сценарии развития событий?

Обучающимся предлагается разработать проект дальнейшего использования реки Теча и земель ВУРСА. Время на обсуждение 15 минут, далее происходит обсуждение идей. Возможные ответы: после очищения прибрежной территории возможен выпас скота, засыпка берега чистым песком и оборудование пляжей.

Учитель подводит итоги. Сейчас хозяйственное использование реки запрещено в связи с её радиоактивностью. Но, после осуществления реабилитационных мер, дальнейшее использование реки в хозяйстве возможно.

### **3.2 Разработка учебно-экологической тропы по участкам реки Теча (проектная деятельность)**

Внедрение регионального компонента в школьный курс географии является одним из средств вовлечения обучающихся в активную учебно-познавательную деятельность. Оно должно вовлечь ученика на активное действие поиска информации о родном крае, привлекать новизной изучаемого материала. Изучение родного края является одной из задач школьной географии.

Учебная экологическая тропа – специально оборудованная в образовательных целях природная территория, которая предназначена для проведения учебной и пропагандистской работы по вопросам охраны природы, создания условий для воспитания экологически грамотной культуры поведения человека в окружающей среде.

Задания выполняются во время прохождения пути. Маршрут будущей экологической тропы выбирается таким образом, чтобы в нем были представлены не только участки нетронутой природы, но и антропогенный ландшафт. Это позволяет проводить сравнительное изучение естественной и преобразованной среды, учиться прогнозировать возможные последствия такой деятельности. Каждая точка имеет безопасный подход и хороший обзорный вид.

Цель: методическая разработка экологической тропы.

Задачи:

- 1) Активизировать внимание обучающихся к экологическому состоянию окружающей среды.
- 2) Обобщить и углубить знания о природе своего края.
- 3) Показать познавательные-экологические возможности тропы.

Определить видовой состав растений и животных.

- 4) Выявить экологические проблемы своего района.
- 5) Создать условия для воспитания экологически грамотной культуры поведения человека в окружающей среде.

Объект изучения и исследования: река Теча, Бродокалмакский заказник.

Экологическая тропа рассчитана на обучающихся 8-9 классов.

Протяжённость маршрута – 2,5 км.

Задачей тропы является практическое закрепление знаний курса "Краеведения и географии Челябинской области" полученных на уроках. Главная задача учебной тропы – способствовать воспитанию экологической культуры поведения человеком, как части общей культуры взаимоотношений людей друг с другом и отношения человека к природе.

### **Организация будущей учебно-экологической тропы «Юный эколог»**

Тропа будет проходить через реку Теча по мосту-1 в окрестностях с. Бродокалмак, захватывая небольшую часть Бродокалмацкого заказника, возможно посещение родника.

Река Теча до 1949 г. вытекала из оз.Иртяш в Челябинской области. В настоящее время берёт начало от плотины водоёма В-11, зоны впадения левобережного и правобережного отсечных каналов и Асановских болот. Длина реки составляет 243 км.

Бродокалмакский биологический заказник был создан 3 ноября 1970 года с целью охраны боровой дичи, диких копытных животных (лось, косуля, кабан) и редких видов растений.

По ходу прохождения тропы учитель рассказывает обучающимся про загрязнение реки Теча, показывает засыпанные части поймы, как результат работы по реабилитации определенных участков реки вблизи населенных пунктов. Знакомит с Бродокалмакским государственным природным биологическим заказником. На рисунке 11 изображен маршрут экологической тропы.

### Маршрут экологической тропы

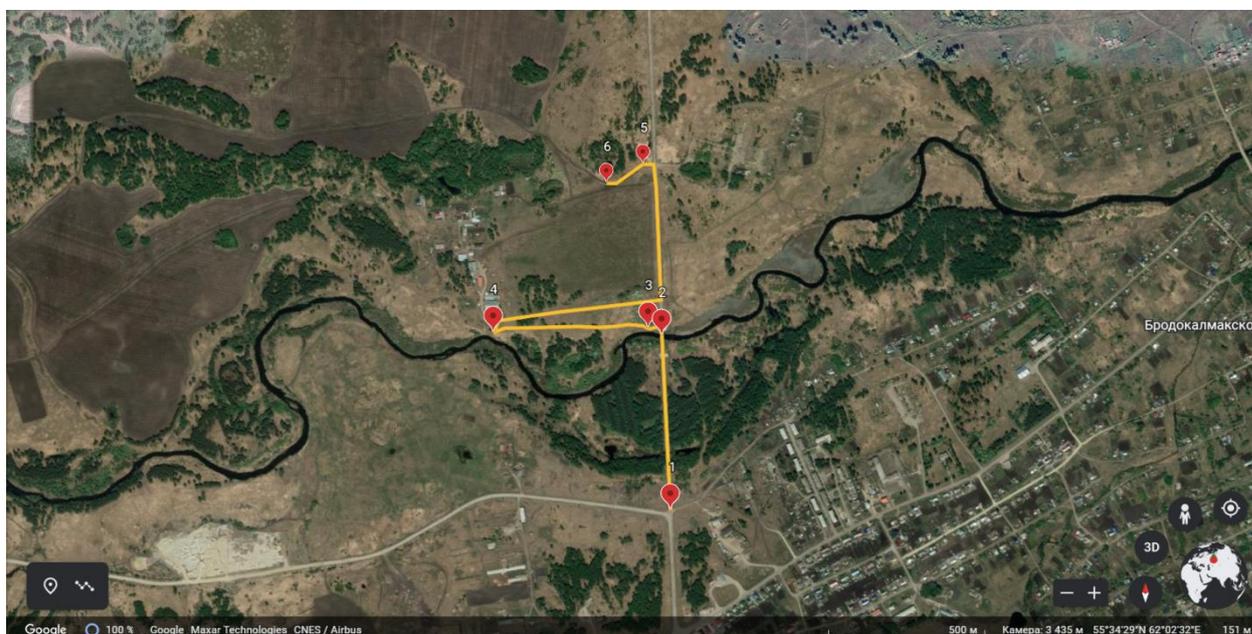


Рисунок 11 – Маршрут экологической тропы

Тропа промаркирована и включает несколько точек. Работа на каждой точке начинается с обозначения своего местонахождения на плане. Кроме того, обучающиеся на некоторых остановках выполняют различные упражнения по ориентированию на местности. Примеры заданий по ориентированию: нахождение по солнцу основных и промежуточных сторон горизонта (в полдень), визирование на различные объекты и определение их азимутов; ориентирование плана по компасу и по местным

объектам; обозначение на плане пройденного участка маршрута и т.д. Предварительно класс делится на бригады по 5-6 человек.

В начале экскурсии рекомендовано начать беседу о культуре поведения в природе, познакомить с карта-схемой тропы.

Каждый ученик заполняет свой полевой дневник, в котором кратко записывает результаты наблюдений.

### **Точка 1. Начало тропы**



Рисунок 12 – Окрестности села Бродокалмак, вид на мост-1

Тропа начинается с точки 1 (рисунок 12).

Содержание:

- Обозначение на плане.
- Рассказ о формировании ландшафтов на данной территории.
- Ознакомление с планом действий, проведение инструктажа.
- Определение своего парашага.

При переходе с предыдущей точки на следующую остановку, обучающиеся должны проследить за изменением рельефа, растительностью, выявить эти изменения.

Работа с обучающимися. Описание местности (что видят перед собой ученики). Типично равнинный рельеф. Данная зона покрыта смешанным лесом (ель, сосна, береза).

### Точка 2, 3. Мост



Рисунок 13 – Вид с моста на реку Теча



Рисунок 14 – Мост-1 в с. Бродокалмак

#### Содержание:

- Ориентирование, определяем точку на карте.
- Определение средней скорости реки с помощью буйков, секундомера и рулетки (наблюдения проводятся с моста, ширину реки можно измерить парашагами на мосту) (рисунки 13,14).
- Практическая работа: описание рельефа местности, рельефа речной долины.
- Зарисовка поперечного профиля левого берега реки Теча, измерение глубин.
- Работа с радиометром.

Мы находимся у реки Теча, которая является одной из самых опасных рек в России. Почему? И так ли это на самом деле?

Заселение истока реки Теча русскими переселенцами произошло в начале XVIII века. Для дальнейшего житья выбрали место русские, а не коренные жители нашего края – кочевые башкиры. Река Теча, с появлением железоделательных заводов Кыштыма и Каслей, служила основным источником энергии, на ней устанавливали плотины.

Судьба Бродокалмака началась в 1715 году, когда казак из Катайской слободы Андрей Липин срубил на берегу реки Течи первый дом. Вскоре рядом появились ещё избы. Окружили их частоколом для защиты от набегов кочевников и стали возделывать здесь не тронутую до того рукой человека землю. Поселенцы занимались земледелием, охотой, рыболовством. Теча служила источником ресурсов. В старину село Бродокалмак именовалось Калмацким Бродом. Название означает брод через реку Теча, которым пользовались калмыцкие воинские люди. Жизнь села была неразрывно связана с рекой.

По одной версии название реки произошло от татарского слова «тёче» – «пресный», а по другой – от старорусского слова, означающего «течение».

Обсуждение с обучающимися о мерах предосторожности при нахождении вблизи реки Теча.

Проведение исследовательской работы с обучающимися на реке Теча.

Для построения поперечного профиля выполнена ватерпасовка левого берега (рисунки 15-17). Инструментами служили две рейки, уровень – ватерпас, компас (335 градусов северо-запад).



Рисунок 15 – Левый берег реки Теча



Рисунок 16 – Левый берег реки Теча



Рисунок 17 – Замеры высот

После измерений обучающиеся зарисовывают в своих дневниках поперечный профиль (рисунок 18).

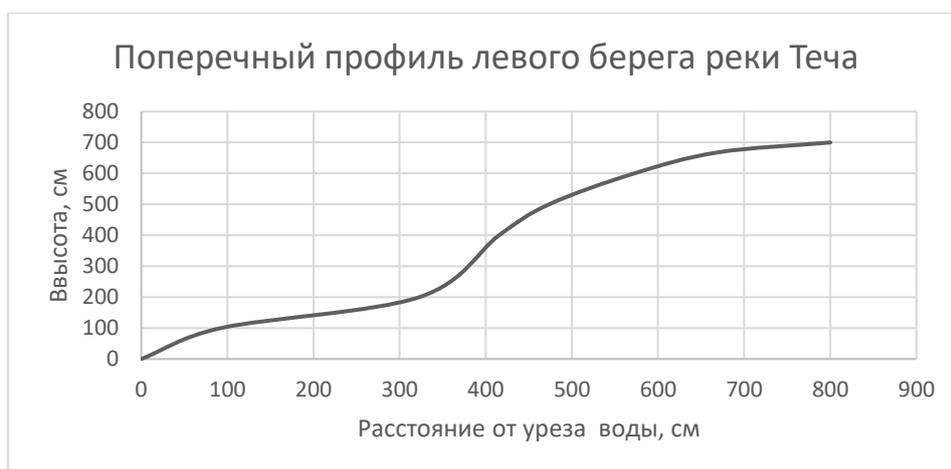


Рисунок 18 – Поперечный профиль левого берега реки Теча

Измерения глубины реки проводятся с помощью метровой размеченной палки, а также измерения могут быть сделаны с моста с помощью веревки и груза. В таблице 6 приведены показатели глубин.

Таблица 6 – Таблица замеров глубин

№ точки	Расстояние от левого берега, м	Глубина, см
1	1	55
2	2	60
3	3	80
4	4	65
5	5	70
6	6	75
7	7	85
8	8,5	140
9	10	140

Ширина реки составляет 11,4 м. Максимальная глубина наблюдалась возле правого берега – 1,4 м. Дно илистое, встречаются россыпи камней. Водоросли широко распространены.

Измерения радиометром могут проводиться в различных точках для сравнения. Мост, засыпанная каменным грунтом часть поймы, верхняя пойма, нижняя пойма. Обучающиеся ведут записи в дневниках. На рисунке 19 изображена точка 3, на которой проводятся измерения глубины реки, работы с радиометром.



Рисунок 19 – Точка 3

**Точка 4.**



Рисунок 20 – Вид на реку Теча

Содержание:

- Ориентирование, определяем точку на карте.
- Практическая работа: описание рельефа местности, рельефа речной долины (рисунок 20).
- Наблюдение за природой.
- Работа с радиометром.
- Исследование качества воды из реки.

Исследование качества воды включает в себя: цвет (окраска), прозрачность, определение запаха воды. Обучающиеся набирают воду в

ёмкость и бригадами исследует её качества. Все данные заносятся в полевой дневник эколога.

Для диагностики цвета воды потребуется сосуд и лист белой бумаги. На белом фоне обучающиеся фиксируют цвет (голубой, зелёный, серый, коричневый). Чтобы измерить прозрачность речной воды, применяется диск Секки диаметром 30 см. Характер запаха воды описывается следующими терминами: ароматический (огуречный, цветочный); болотный (кислый, тинистый); гнилостный (фекальный, сточный); древесный, землистый, плесневелый, рыбный.

### Точка 5. Бродокалмакский заказник (рисунок 21)



Рисунок 21 – Табличка «Бродокалмакский заказник»

Содержание:

- Ориентирование, определяем точку на карте.
- Ознакомление с историей заказника.

Учитель рассказывает историю заказника, про его деятельность, главные задачи.

Учитель: Заказник образован по распоряжению Чел. облисполкома в 1970 как видовой для сохранения диких копытных животных и боровой птицы.

Послушайте загадки и скажите, какие дикие животные и птицы нуждались в защите.

Токует он – «железо точит»  
Бубнит под нос, как пономарь.  
Он не глухой – женится хочет.  
Весна, любовь, поет... (глухарь)  
В чаще ходит зверь рогатый,  
Все зовут его «сохатый».  
Так давно уж повелось.  
В тёмной чаще бродит... (лось)  
Самый маленький олень,  
Лёгкий и изящный,  
Зимой серо-рыжий,  
Рыжий летом яркий! (косуля)

Основными задачами Бродокалмакского заказника являются:

- 1) сохранение, воспроизводство и восстановление ценных в хозяйственном, научном и культурном отношении видов животного мира;
- 2) обеспечение устойчивого состояния среды обитания охраняемых видов животного мира;
- 3) организация и проведение научных исследований по биологии охраняемых видов, обитающих на территории Бродокалмакского заказника;
- 4) экологическое образование и просвещение населения.

Границы Бродокалмакского заказника обозначаются на местности специальными информационными знаками (аншлагами) [3].

А мы с вами сейчас зайдём на территорию заказника и познакомимся с его растительным и животным миром.

## Точка 6. Территория Бродокалмакского заказника



Рисунок 22 – Берёзовый колос на территории заказника

Содержание:

- Ориентирование, определяем точку на карте.
- Ознакомление с видовым составом растительного мира, зарисовка часто встречающихся растений в полевом дневнике.

Лесная растительность на территории Бродокалмакского заказника представлена березовыми и осиново-березовыми островными лесами. На рисунке 22 изображен берёзовый колос. Определение с учениками видового состава участка леса, ведение записи в полевой дневник, зарисовка деревьев.

В Бродокалмакском заказнике обитают популяции куропаток и тетерева, а также кроншнеп. Заказник стал домом для насекомых с красивыми названиями: красотка-девушка, красотка блестящая, подалирий, обыкновенный махаон и светляк. Наиболее распространенными животными на территории заказника являются: лисица, куница, горностай, енотовидная собака, ондатра, барсук, заяц-беляк, кабан, косуля и лось. Реже можно встретить степного хорька и рысь. На озерах и болотах Бродокалмакского заказника гнездится более 30 видов водоплавающих птиц, наиболее многочисленные из них: утка серая, чирок-свистун, чирок-трескун, кряква, нырок красноголовый, лысуха [3].

Завершение экологической тропы.

### **Выводы по 3 главе**

По материалам работы разработано внеклассное мероприятие для старших классов в форме конференции. В мероприятии затрагиваются проблемы экологии родного края, а также ПО «Маяк» и последствия радиоактивного загрязнения. Экологическое просвещение необходимо для воспитания бережного отношения к природе и рационального использования природных ресурсов. Необходимо развивать у обучающихся экологическое мышление, которое требует обширного понимания устройства мира и происходящих в нем процессов. Большую роль в формировании экологической культуры отводят внеклассной деятельности, а работа с краеведческим материалом даёт обучающимся осознание значимости наследия родного края в своей жизни, учит интересоваться жизнью своего края, осознавать проблемы окружающего их мира и самостоятельно пытаться находить пути их решения.

Также, разработана экологическая тропа по изучению реки Теча и Бродокалмакского заказника для обучающихся 8-9 классов. Итоговым продуктом исследования будет отчет в виде полевого дневника и учебная экскурсия по маршруту экологической тропы.

Создание учебных экологических троп способствует повышению научного уровня школьного образования. Знания, которые обучающиеся получают на тропе, тесно связаны с программным материалом; они помогают расширять и углублять знания, полученные на уроках. Обучающиеся овладевают умениями применять на практике знания из разных предметов в комплексе и постигают неразрывное единство природной среды и человека.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам изучения собранного массива данных нами было проанализировано современное состояние радиоактивного загрязнения реки на участках, расположенных в Челябинской области. Были выявлены возможные методы реабилитации рек, рассмотрены возможные в будущем виды хозяйственной деятельности на реке Теча, а также предложен метод, позволяющий снизить радиационную нагрузку на жителей населенных пунктов вблизи реки (на примере с. Бродокалмак). По данным, полученным в ходе работы, было разработано 2 мероприятия для школьного курса географии.

С момента загрязнения реки Теча прошло 73 года. Гидрологический режим реки был изменён. В 2008 году была укреплена плотина-11, также с 2017 года сбросы в открытую гидрографическую сеть ПО Маяк не осуществлялись. Нижняя пойма оказалась обнажена, что привело к уменьшению поступления радионуклидов в реку с территории поймы.

В результате изучения гидрохимических показателей реки Теча нами были обнаружены очень высокие концентрации общего фосфора – 1,31 мг/л. Вероятно, это воздействие несанкционированных сбросов неочищенных сточных вод и иных отходов от местной птицефабрики «Здоровая ферма» около Муслумово. Окраска воды слабо-желтоватая, вода прозрачная (более 30 см по шрифту Снеллена). Концентрация основных ионов в целом соответствует местному геохимическому району. Воды гидрокарбонатного класса группы кальция сульфатно-натриевого (II) типа. Воды жесткие. Также наблюдается весьма высокая окрашенность и цветность воды. Обращают на себя внимание пониженные концентрации марганца. Вероятно, высокая степень зарастания русла реки макрофитами обеспечивает значительное вовлечение марганца в биологический круговорот. Концентрация меди несколько повышены. Также были получены данные ширины реки, равной 11,4 м у моста возле с.

Бродокалмак, площади поперечного сечения – 9,44 м<sup>3</sup>, а также вычислен расход воды, который равен 0,94 м<sup>3</sup>/с.

Нами получены современные данные о радиационном состоянии территории долины реки вблизи села Бродокалмак. На высокой пойме МЭД составляет 54 мкР/час, на нижней пойме показатели в несколько раз выше, среднее значение 240 мкР/час, что превышает безопасную дозу для человека почти в 5 раз. Исходя из данных показателей, рекомендуется продолжить работы по засыпке низкой поймы скальным грунтом; по нашим оценкам это даёт 90% снижения мощности экспозиционной дозы.

Для снижения нагрузки на жителей поселков, расположенных вблизи реки Теча, нами предложено комбинированное использование отсыпки берегов нижней поймы с установкой уловителя загрязненного ила на дне русла (ниже по течению от населенного пункта).

В настоящее время, концентрация стронция и цезия в пределах села Бродокалмак исключает возможность использования ее для хозяйственных и питьевых нужд населения. Вопросы ограничения водопользования и реабилитации реки актуальны, так как жители поселка используют воду и пойменную территорию для выпаса скота, ловли рыбы.

Вода реки не представляет угрозы, так как поступление радионуклидов прекращено, а река имеет свойство самовосстановления. Все частицы оседают на дно и переносятся вниз по течению. Самым загрязненным местом считается низкая пойма, где раньше протекала река в полноводные годы и переносила радионуклиды.

После очищения прибрежной территории возможна засыпка берега чистым песком и оборудование пляжей.

По материалам исследования были разработаны внеурочные мероприятия для обучающихся. Для обучающихся 8-9 классов было выбрано одно из эффективных средств экологического образования – экологическая тропа. Она включает в себя прохождение маршрута, по ходу которого обучающиеся узнают о истории родного края, деятельности ПО

«Маяк» и последствия для реки Теча. Предусмотрены задания для самостоятельного выполнения, такие как, измерение морфометрических характеристик реки, качества воды, измерение МЭД. Для старших классов был выбран вид мероприятия в форме конференции. Такой приём педагогической техники повышает уровень включенности и заинтересованности обучающихся темой занятия.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андреев С.С. Радиоэкологические последствия загрязнения реки Течи. Источники вторичного загрязнения реки / Последствия радиоактивного загрязнения реки Течи // под ред. Доктора медицинских наук, профессора А.В. Аклеева. – Челябинск: «Книга», 2016. – С. 48–104.
2. Атлас Восточно-Уральского и Карачаевского выбросов следов, включающий прогноз до 2047 года / Под ред. Ю.А. Израэля. – М.: ИГКЭ Росгидромета и РАН, Фонд «Инфосфера» – НИИ-Природа, 2013. – 140 с.
3. Бродокалмацкий государственный природный биологический заказник – URL: [http://www.oopt174.ru/htmlpages/Show/brodokolmak\\_zak](http://www.oopt174.ru/htmlpages/Show/brodokolmak_zak) (дата обращения: 02.04.2022).
4. Восстановление водных объектов. Очистка природных и сточных вод: краткий курс лекций для студентов 3 курса направления подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование» / Сост.: В.В. Афонин // ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2016. – 70 с.
5. География. Челябинская область. 5-11 класс: атлас: учебное пособие / М.В. Панина, В.М. Кузнецов, В.В. Латышин, Е.Ф. Павленко [и др.]. – Челябинск: «Край Ра», 2017.
6. Государственный водный реестр: река Теча. – URL: <https://textual.ru/gvr/index.php?card=195865&bo=0&rb=0&subb=0&hep=0&wot=21&name=%F2%E5%F7%E0&loc=> (дата обращения: 03.04.2022).
7. Елимахова Н.М., Захаров С.Г. Современное гидроэкологическое и радиационное состояние реки Теча в окрестностях н. п. Бродокалмак и возможные пути реабилитации участка реки // Географическое пространство: сбалансированное развитие природы и общества. Мат-лы II международной науч.-практ. конф. (Челябинск, 8-10 октября 2021г.) – Челябинск: Край Ра, 2021. – С. 68–77.
8. Елимахова Н.М., Современная радиоэкологическая обстановка реки Теча в Челябинской области // География и геоэкология на службе

науки и инновационного образования: материалы XVI Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, посвященной 160-летию со дня рождения полярного исследователя Ф. Нансена, 130-летию со дня рождения геолога С.В. Обручева, 110-летию со дня рождения писателя и путешественника Г.И. Кублицкого. Красноярск, 28 мая 2021 г. / отв. ред. М.В. Прохорчук; ред. кол.; Электрон. дан. Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева. – Красноярск, 2021. – С. 181–183.

9. Как развивалось предпринимательство на Южном Урале. Братья Злоказовы – URL: <https://kr-gazeta.ru/obshchestvo/KakrazvivalospredprinimatelstvonaYUzhnomUraleBraty aZlokazovy/> (дата обращения: 21.04.22).

10. Кирин Ф.Я. География Челябинской области. – 4-е изд., перераб. – Челябинск: Юж.-Уральск. кн. изд-во, 1973. – 100 с.

11. Климат Челябинской области. – URL: <http://troitsk74.ru/about-city/climate/region/> (дата обращения: 02.04.22).

12. Медико-биологические и экологические последствия радиоактивного загрязнения реки Теча / Под ред. А.В. Аклеева, М.Ф. Киселева М., 2001. – 531 с.

13. Мельница Злоказовых. – URL: <https://anonymus-74.livejournal.com/291660.html> (дата обращения: 21.04.22).

14. Никитин О.В. Экотехнологии восстановления водоемов: учебное пособие / О.В. Никитин, В.З. Латыпова, Ш.Р. Поздняков – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2015. – 139 с. – ISBN 978-5-00019-459-1.

15. Озера с радиоактивными отходами на территории России и опыт их ликвидации – URL: <https://www.pvsm.ru/fizika/335333> (дата обращения: 07.05.20).

16. Основные закономерности распределения радионуклидов в системе реки Теча по результатам многолетних наблюдений. – URL: <http://www.chelpogoda.ru/pages/332.php> (дата обращения: 04.04.2022).

17. Отчет по экологической безопасности ФГУП "ПО "Маяк" за 2017 год / Госкорпорация "Росатом"; ФГУП "ПО "Маяк". – Озерск: РИЦ ВРБ; Типография ФГУП "ПО "Маяк", 2018. – 48 с.

18. Отчет по экологической безопасности ФГУП "ПО "Маяк" за 2020 год / Госкорпорация "Росатом"; ФГУП "ПО "Маяк". – Озерск: РИЦ ВРБ; Типография ФГУП "ПО "Маяк", 2021 – 64 с.

19. Охрана природы Южного Урала. Областной экологический альманах. / АНО «Центр содействия социально-экологическим инициативам атомной отрасли»; гл. ред. Конышев И. В. – Москва : Издательство Общественного совета Госкорпорации «Росатом», 2008. – 148 с. – ISBN: 978-5-91706-006-4.

20. Патент № 2203511 Российская Федерация, МПК G21F 9/12(2006.01), C02F 1/28(2006.01), E02B 15/00(2006.01). СПОСОБ ОЧИСТКИ ПРОТОЧНОГО ВОДОЁМА ОТ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ: № 2001112128/06 : заявл. 03.05.2001 : опубл. 27.04.2003 / Андреев А.В. – 4 с. : ил. – Текст : непосредственный.

21. Патент № 2218616 Российская Федерация, МПК G21F 9/12(2006.01), C02F 1/28(2006.01), E02B 15/00(2006.01). СПОСОБ ОЧИСТКИ ПРОТОЧНОГО ВОДОЁМА ОТ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ: № 2001116807/06 : заявл. 16.06.2001 : опубл. 10.12.2003 / Андреев А.В. – 4 с. : ил. – Текст : непосредственный.

22. ПРИРОДА, ОБЩЕСТВО, РАДИАЦИЯ. Сборник избранных докладов участников Южно-Уральских общественных слушаний 1996-2001 гг. – Челябинск: издатель Татьяна Лурье, 2002. – 168 с.

23. Проблемы ядерного наследия и пути их решения / Под общ. ред. Е.В. Евстратова, А.М. Агапова, Н.П. Лаверова, Л.А. Большова, И.И. Линге. – Москва: Изд-во Энергопроманистика, 2012. – 356 с. – Т1.

24. Радиоактивное загрязнение реки Течи и качество жизни населения прибрежных районов / под ред. В.Н. Козлова. Челябинск: Челяб. гос. ун-т, 2007. 166 с.

25. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 11. Средний Урал и Приуралье. 1973 г. / Монография составлена сотрудниками ГГИ и Уральского УГМС под редакцией ст.науч. сотр. ГГИ канд. геогр. наук Н. М. Алюшинской.

26. Теченский каскад водоёмов ФГУП "ПО "Маяк": текущее состояние и перспективы / С.В. Баранов, Г.Ш. Баторшин, Ю.Г. Мокров Россия, г. Озерск, ФГУП "ПО "Маяк" М.Л. Глинский, Е.Г. Дрожко Россия, г. Москва, ФГУГП "Гидроспецгеология" И.И. Линге, С.С. Уткин Россия, г. Москва, ИБРАЭ РАН // Вопросы радиационной безопасности. – 2011. – № 1 (61). – С. 5–14.

27. Челябинская область. Атлас/под ред. проф. В.В Латюшина.- Изд. 5-е, перераб. и доп.- Челябинск: АБРИС, 2014. – 32 с.

28. Челябинская область: ликвидация последствий радиационных аварий/ [Г. Н. Подтесов, А. В. Аклеев, А. Ю. Даванков и др.]; под общ. ред. проф. А. В. Аклеева. — 2-е изд., испр. и доп. — Челябинск : Южно-Уральское книжное издательство, 2006. — 340 с., [12] л. ил. — Библиогр.: С. 337—338 (20 назв.).

29. Челябинская область: Энциклопедия / Гл. ред. К. Н. Бочкарев. – Челябинск: Каменный пояс, 2008. – Т.5. – П – Се. – 880 с.:ил. ISBN 978-5-88771-080-8.