



МАТЕРИАЛЫ ПЯТОЙ конференции геокриологов России

**МГУ имени М.В. Ломоносова
14-17 июня 2016 г.**

ТОМ 1

Пленарные доклады

Часть 1. Инженерная геокриология

Часть 2. Линейные сооружения в криолитозоне

**Часть 3. Сезонно-действующие и охлаждающие системы
в криолитозоне**

**Часть 4. Геофизические исследования в криолитозоне
при строительстве**

Москва
«Университетская книга»
2016

Часть 4

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В КРИОЛИТОЗОНЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КРУПНЫХ ГИДРО- И ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В КРИОЛИТОЗОНЕ ЯКУТИИ

С.А. Великин, Ю.Л. Марченко

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН

Для освоения алмазоносных месторождений Якутской алмазной провинции (АЯП) за короткий период были созданы крупные горнопромышленные предприятия и гидротехнические сооружения. Результаты взаимодействия этих сооружений с вечной мерзлотой, как показала практика, часто непредсказуемы. Для решения этих проблем необходимы фундаментальные исследования формирования и трансформации геофизических полей в геологической и геокриологической среде с учетом естественных изменений природных условий, и особенностей технического прессинга.

THE SCIENTIFIC AND METHODOICAL BASICS OF GEOPHYSICAL MONITORING OF LARGE HYDRO- AND MINE TECHNICAL STRUCTURES IN THE YAKUTIAN CRYOLITHOZONE

S.A. Velikin, Ju.L. Marchenko

Melnikov Permafrost Institute SB RAS

For the short period the large mining enterprises and hydraulic facilities constructions for development of diamond fields of the Yakutian diamond province (YDP) have been created. In practice interrelationship between these constructions and permafrost as usually are rather complicated. Basic researches of geophysical fields formation and transformation are necessary for the solving of these problems in geological and permafrost environment taking into account natural changes of an environment, and features of technogenic pressure.

Развитие промышленного потенциала Западной Якутии (ЯАП) играет важную роль в стратегии экономического развития России. В первую очередь это связано с тем, что на ее территории расположена Якутская алмазоносная провинция, в пределах которой уже в настоящее время находится в эксплуатации 10 крупнейших в мире месторождений алмазов и для дальнейшего наращивания алмазодобычи разведано более 1200 кимберлитовых алмазосодержащих тел и россыпных месторождений.

Создание и эксплуатация в пределах развития вечномёрзлых пород крупных инженерных сооружений, приводит к изменению естественных природных условий и существующих экосистем, в значительной мере определяющих устойчивость оснований этих сооружений. Для эффективного их решения, в качестве методологической базы был выбран системный подход, позволивший обосновать необходимость использования комплексного геофизического мониторинга физико-геокриологических моделей (ФГКМ) горно- и гидротехнических систем [1,3,9].

Следует отметить, что границы этих систем определяются воздействием сооружений на геокриологическую среду. Однако если строго следовать системному подходу, то технические системы воздействуют не только на геокриологическую среду, но и на другие сферы (атмосферу, гидросферу, биосферу) и, поэтому область взаимодействия окружающей среды и технического сооружения будет более правильным называть природно-техническая система [7,9].

Инженерные сооружения промышленного комплекса региона существенно отличаются по площади, по глубине и по видам воздействия на толщи многолетнемерзлых пород (ММП). Воздействие горнотехнических сооружений (шахты, карьеры) на ММП достигает глубины 1000 и более метров, гидротехнических сооружений еще предстоит установить, но известно, что в пределах водохранилищ ГЭС оно может достичь 2/3 их ширины. Однако по механизму теплового воздействия все они подразделяются на два типа: экстенсивного и интенсивного. Интенсивного воздействия первого типа зависит от изменения природными и техническими факторами составляющих радиационно-теплого баланса, второго - от интенсивности непосредственного стока тепла в массивы вечной мерзлоты [8].

Необходимо также отметить весьма существенное различие природных условий, в которых создавалась хозяйственная структура предприятий [5]. Несомненно, также и то, что в настоящее время, эти условия меняются в связи с глобальным изменением природно-климатических условий.

Перечисленные выше особенности строительства функционирования гидро и горно-технических сооружений, а также природные условия, в которых они находятся, предопределили формирование геокриологической среды, строение и свойства которой существенно отличаются в пространстве и во времени. В результате в области их взаимодействия часто возникают различные типы инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических процессов и явлений, которые отрицательно сказываются на жизнедеятельности и эксплуатационные характеристики сооружений. Несомненно, что предупреждение их развития связано с диагностикой состояния геокриологической среды.

Решение этой задачи невозможно без надежной технологии контроля за геофизическими полями в криолитозоне в целом, и в пределах границ геокриологической среды, в частности.

Базируясь на перечисленных выше предпосылках по созданию геофизического мониторинга на гидротехнических объектах, расположенных в зоне развития многолетнемерзлых пород Якутской алмазоносной провинции, ВНИМС был опробован широкий комплекс геофизических методов исследований [1-10].

В комплексе работ широко использовались новые разработки геофизической аппаратуры и методик ведущих научных организаций, в том числе МГРИ, МГУ, Радионды, Рудгеофизики и других, включая собственные разработки ВНИМС, а также результаты геофизических исследований геологических экспедиций АК АЛРОСА.

В настоящее время, несмотря на широкий спектр решаемых перечисленными методами отдельных инженерно-геокриологических и экологических задач требуется переход на более качественный уровень ведения комплексных геофизических исследований. В первую очередь это связано с необходимостью внедрения автоматизированных систем регистрации геофизических измерений в режиме натурного мониторинга для целей контроля и оперативного прогноза аварийных ситуаций. Особенно остро эта задача стоит на ГЭС, основные сооружения которых обычно расположены в узких створах, что существенно снижает возможности использования наиболее информативных расстановок измерительных электроразведочных и сейсморазведочных кос. Кроме того зона головных сооружений

практически без исключений является зоной интенсивных промышленных помех для большинства геофизических методов.

Сложность решения поставленной задачи заключается в том, что гидротехнические объекты в криолитозоне являются открытыми системами, находящимися в состоянии неустойчивого квазиравновесия при температуре вблизи точки плавления льда. Такие системы, как известно, динамичны и в них возможны проявления процессов, как самоорганизации, так и хаотизации. Первые проявляются в определенной устойчивой ритмичности изменения системы, а вторые – в нарушении такой ритмичности и ухода от устойчивости.

Известно, что основным средством познания закономерностей развития таких сложных объектов является системное статистическое моделирование, позволяющее изучать динамику процессов «плохо организованных систем». К ним можно отнести и геокриологические процессы, не поддающиеся безупречному количественному описанию, вследствие чего строгое понятие закона заменяется при их изучении более широким понятием – модели, обеспечивающей лишь приближенное представление о строении объекта.

Учитывая сложность решения основной задачи и опыт предыдущих исследований, нами в качестве методологической основы проведения автоматизированных комплексных геофизических исследований предлагается использование *статистической модели верхней части криолитозоны, на которой в равной мере отражены состав, строение, история формирования горных пород и динамика их изменений* под воздействием природно-техногенных процессов.

В условиях гидротехнических сооружений изучение этих составляющих можно проводить в наблюдательных скважинах и межскважинном пространстве с помощью комплексного геофизического каротажа, а также по примыкающим к ним площадям геофизических съёмок. Именно они должны быть основой автоматизированной системы сбора информации и их можно считать динамическими физико-геокриологическими моделями (ФГКМ). В описание ФГКМ входят: геокриологический разрез, геометрия целевых объектов, натурные петрофизические и геокриологические характеристики, а также наблюдаемые геофизические поля. Таким образом, под ФГКМ понимается систематизированное описание целевых объектов подлежащих обнаружению и последующей оценке в геофизических полях с заданной точностью и надёжностью.

Основным предметным наполнением частных ФГКМ, кроме геологических, являются, качественные и количественные характеристики признаков деградации ММП по аномальным и комплексным геофизическим параметрам. Именно в такой последовательности, от постановки задачи до принятия решений о развитии аварийных ситуаций, частные ФГКМ могут использоваться для контроля состояния сооружений и прогноза. Принятие решений о возможной аварийной ситуации необходимо проводить путем согласования временной изменчивости частных ФГКМ по результатам автоматизированной обработки мониторинговых данных и контрольно-наблюдательной сети КИА (рис. 1).

Схема обработки геофизической информации по выделению всей совокупности геофизических аномалий подробно рассмотрена в работе [3] и она применима для решения геокриологических задач. Принятие решения о возникновении неблагоприятных (аварийных) ситуаций связывается с заключительным блоком этой схемы. В этом блоке, находящемся в стадии разработки, должны располагаться частные ФГКМ и модуль спектрально-корреляционного анализа. В настоящий момент таким модулем может явиться созданный в РГГРУ модуль программного комплекса КОСКАД 3Д (авторы Петров А.В., Никитин А.А., и др.). Модуль должен осуществлять обработку данных в

автоматизированном режиме по программируемому набору отдельных алгоритмов, адаптированных к любому объему получаемых геофизических данных (в скважинах, межскважинном пространстве, наземным и аквальный измерениям).

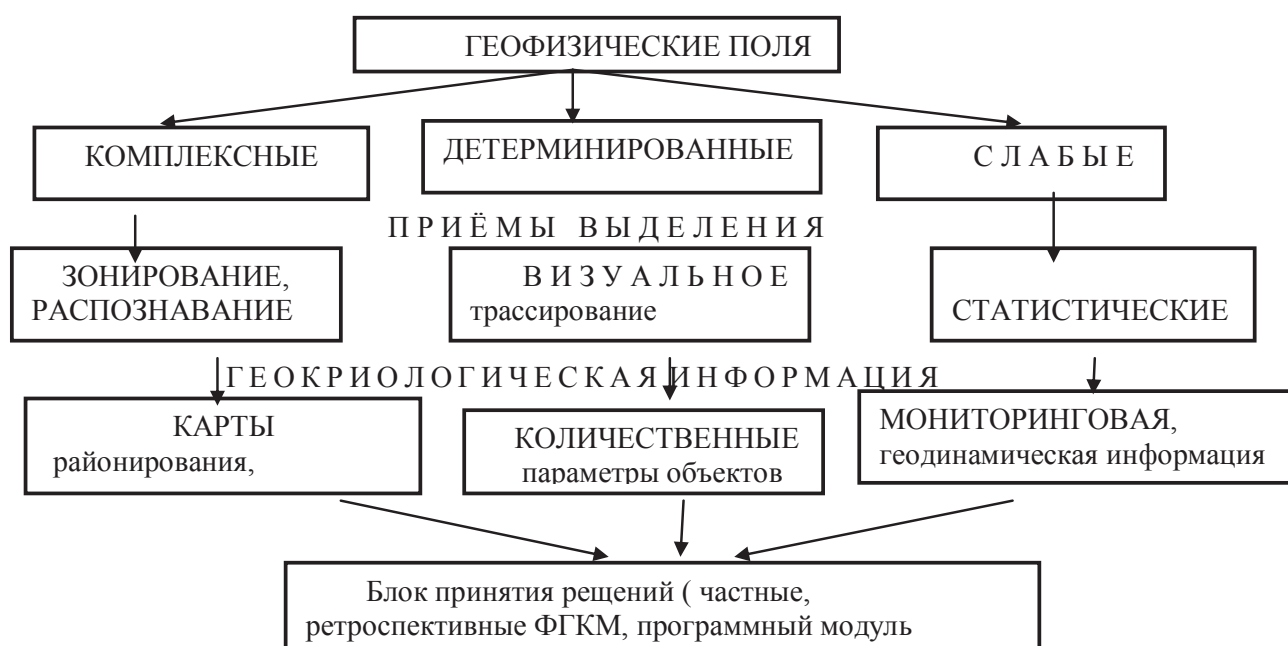


Рисунок 1. Обобщенная схема обработки информации

Основным предметным наполнением программного модуля являются корреляционные (параметрические и непараметрические) и взаимно корреляционные оценки, определение регрессионных зависимостей, использование алгоритмов адаптивной фильтрации в различных вариантах, а также способов классификации и распознавания образов, включая интеллектуальные нейронные сети [11].

Следует добавить, что ФГКМ также могут использоваться для выбора и совершенствования комплекса геофизических методов, технологии проведения работ, совершенствования приемов обработки и интерпретации полученных результатов и оценки эффективности проведенных исследований и прогноза.

Эффективность отдельных и комплексных геофизических признаков при изучении целевых геокриологических объектов ФГКМ проводится путем оценок надёжности и энергетического отношения аномалия/ помеха. Трансформация ФГКМ во времени используется для принятия решения о возможной аварийной ситуации на основе глубокой статистической обработки результатов и согласовании с результатами контрольно-наблюдательных данных КИА.

Изложенная в кратком виде методология статистического моделирования при проведении автоматизированного геофизического мониторинга верхней части криолитозоны приводит к вероятностным оценкам возможности возникновения аварийных ситуаций в процессе эксплуатации ГЭС. Возможности применения этих принципов нами были опробованы на ряде гидротехнических и горнопромышленных объектах региона.

В качестве примера такого подхода приведем результаты исследований по Вилуйской ГЭС 1,2. Вилуйская ГЭС – первое крупное гидротехническое сооружение, возведённое в криолитозоне, введено в эксплуатацию в 1968 году, оборудованное к тому времени необходимой сетью КИА, охватывающей все объекты сооружения. Тем

не менее, в августе 1996 году в правобережном примыкании произошло резкое повышение температуры и в течение нескольких дней образовался фильтрационный поток, который продолжает развиваться и ныне, несмотря на принятые специальные меры противофильтрационной защиты (рис 2 а,б).

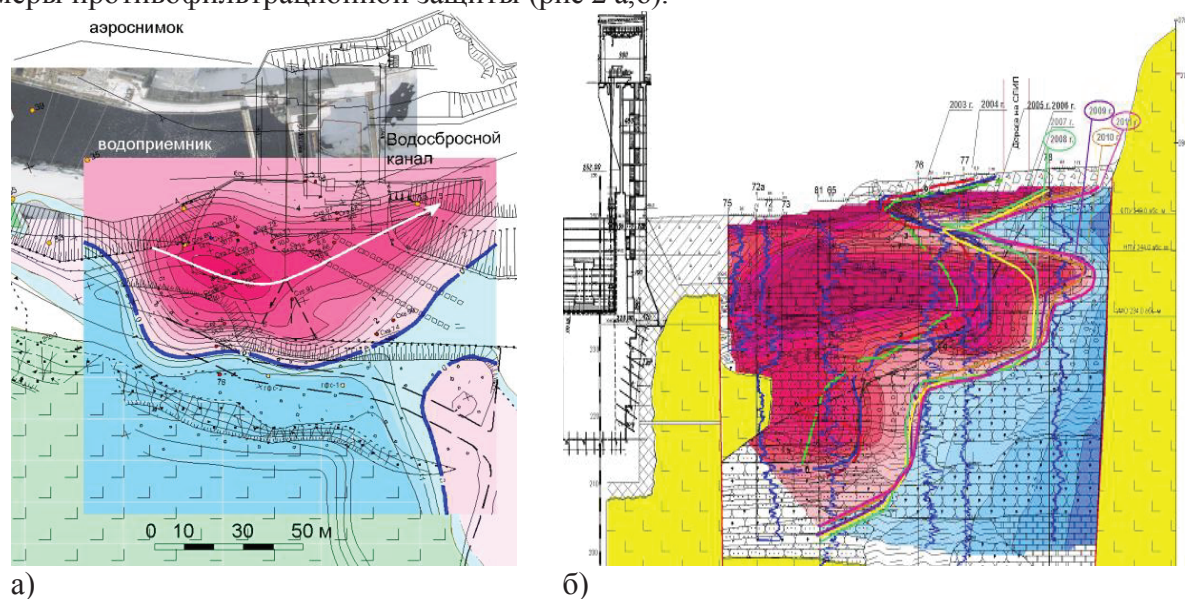


Рис. 2 а,б. Развитие обходной фильтрации в правобережном примыкании Вилуйской ГЭС: а) план распределения максимальных температур; б) температурный разрез правобережного устоя.

Эти процессы развиваются довольно медленно, но при их неконтролируемом развитии могут активировать оползневую деятельность, усиливать рост трещин бокового отпора развитых в примыкающем к устью долеритовом массиве (рисунок 3) и привести к самым серьезным негативным последствиям, вплоть до сползания правобережного устоя.

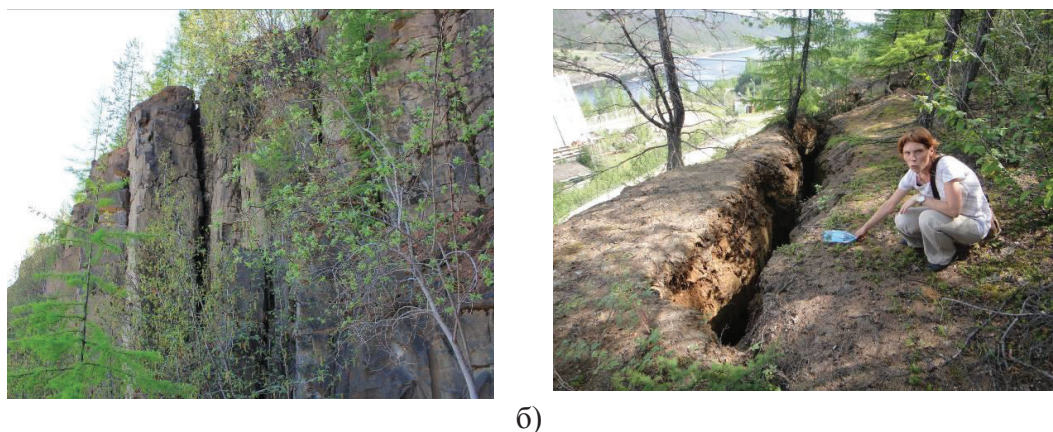


Рис.3. Трещины бокового отпора. а) вид со стороны правобережного устоя; б) вид сверху

Авторы за длительный период опробовали широкий комплекс геофизических исследований в правобережном примыкании водосброса. Основной комплекс включал: темометрию, гамма-каротаж и электрокаротаж скважин (диэлектрический, индукционный, радиоактивности), электротомографию, георадарные и сейсмические профильные наблюдения, профильные измерения естественного поля вдоль правого берега (с воды). К анализу также привлекались ретроспективные данные термометрии скважин, уровня воды в водохранилище, температура воды по глубине.

Комплексная интерпретация всей имеющейся информации позволила создать цифровую пространственно – временную модель участка правобережного примыкания водосбросного канала в районе затвора, где расположены ответственные инженерные сооружения водосброса, подвергшиеся негативному воздействию фильтрационного потока и образованию прогрессирующей таликовой зоны.

С помощью построенной модели выявлен характер развития талика и возникновение фильтрации. Оценена эффективность противофильтрационных мероприятий (создание цементационной завесы). Выявлены особенности сезонного поведения фильтрационного потока в зависимости от температуры воздуха, воды, уровня воды в верхнем бьефе, литологических, термических, гидрогеологических свойств разреза. Показаны прогностические возможности модели и направления её совершенствования.

Все перечисленные и другие негативные процессы должны не только контролироваться в процессе эксплуатации сооружения, но и через управляющие воздействия оптимизироваться в своем развитии.

В этой связи, для улучшения качества прогноза аварийных ситуаций по нашему мнению, необходимо создать опорные сети наблюдательных скважин для проведения геофизических наблюдений, оборудованные контрольно-измерительной аппаратурой, создать наземные опорные профили, которые в частных ФГКМ должны использоваться для решения следующих задач:

1. Уточнение блоково-оползневой тектоники примыканий (вмещающих береговых массивов и головной части сооружения).
2. Изучение потенциально фильтрующихся горных пород (скважинные и межскважинные режимные и наземные наблюдения).
3. Исследование положения фазовых границ вмещающих пород верхней части криолитозоны в динамике по геофизическим характеристикам.
4. Изучение изменчивости свойств геокриогенного разреза под воздействием природно-техногенных нагрузок на частных ФГКМ с помощью корреляционно-спектрального анализа.
5. Разработка критериев оценки состояния ГЭС на основе изучения мониторинговых ФГКМ с вероятностными оценками прогноза.

В состав необходимого автоматизированного наблюдательного комплекса должен входить ряд интеллектуальных систем сбора информации и включать:

- систему скважинных многоточечных температурных, пьезометрических и резистивиметрических измерений, дополненную режимными наземными геофизическими измерениями (геофизический мониторинг), позволяющими круглогодично, с использованием взаимозаменяемых учитывающих сезонные условия методов, контролировать наиболее ответственные участки сооружений.
- систему наблюдений и обработки комплексных скважинных измерений, связанных с блоком принятия решений;

Скважинные логгерные измерительные системы, должны быть способны в автономном режиме проводить сеансы одновременных температурных, пьезометрических и резистивиметрических измерений с заданным интервалом времени между сеансами от 1 минуты до нескольких суток с передачей информации по сотовым, либо спутниковым каналам.

Заверкой результативности и чувствительности наземного комплекса к проходящим геокриологическим процессам системы будут являться параметрические скважины упомянутой системы температурных, пьезометрических и резистивиметрических измерений.

Выводы. Результаты геофизического мониторинга позволяют установить четкое местоположение аномальных зон, с энергетическими отношениями аномалия/помеха соответствующими выделению негативных участков выбранных из анализа ФГМК. Повторные измерения на прилегающих к ФГМК наземных профилях позволяют оценивать динамику зон развития фильтрации и в частных моделях на скважинах при окончательном запуске в работу автоматизированной системы.

Авторы считают, что дальнейшее совершенствование возможностей комплекса геофизических методов и развитие автоматизированных измерений в пределах создаваемых и эксплуатируемых *крупных гидротехнических и горнопромышленных сооружений* в криолитозоне, возможно только на основе предлагаемой статистической методологии мониторинга для изучения динамики деградации ММП на натуральных физико-геокриологических моделях. Полное извлечение всей имеющейся информации в комплексных геофизических полях при проведении автоматизированного мониторинга может быть достигнуто путём оперативного корреляционно-спектрального анализа данных.

Изучение тонкой структуры меняющихся во времени геофизических полей при природно-техногенных нагрузках существенно расширит число целевых геокриологических задач для оперативного контроля и прогноза состояния сооружений.

Предлагаемые принципы ведения автоматизированных мониторинговых геофизических измерений могут быть положены в основу слежения за состоянием горнотехнических сооружений Якутской алмазоносной провинции.

Литература

1. Великин С. А. Особенности геофизического мониторинга ГТС в криолитозоне /Наука и образование 2012, №4. - с. 29-34
2. Великин С.А., Возможности использования геофизических методов при изучении состояния гидротехнического сооружения в криолитозоне на примере накопителя минерализованных вод Тымтайдах. //Журнал Инженерные изыскания 2013. №9- С. 52-59
3. Великин С.А., Демура Г.В.. Основные принципы автоматизированного геофизического мониторинга/Геофизика, 2010, № 3,- с.8-25
4. Зыков Ю.Д. Геофизические методы исследований криолитозоны. – М.: Изд-во МГУ, 2007. 207 с.
5. Климовский И.В., Готовцев С.П. Криолитозона Якутской алмазоносной провинции. – Новосибирск: Наука, 1994. – 168 с.
6. Комплексирование методов разведочной геофизики: справочник геофизика/ под ред. В.В. Бородового, А.А. Никитина. – М.: Недра, 1984. – 384 с.
7. Ревзон А.Л. Картографирование состояний геотехнических систем. М.: Недра, 1992 – 223 с.
8. Шестернев Д.М. Геокриология СССР. Горные страны Юга СССР. М.: Недра, 1969. - 358 с.
9. Шестернев Д.М. Основные принципы организации геокриологического мониторинга линейных сооружений (На примере железной дороги Беркаит-Томмот-Якутск)//Проблемы инженерного мерзлотоведения: материалы IX Международного симпозиума/ Якутск: изд-во Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2011. – с. 253-260
10. Якупов В.С. Исследование мерзлых толщ методами геофизики. – Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2000. – 336 с.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВЫСОКОГОРНЫХ РАЙОНОВ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН (НА ПРИМЕРЕ РАЙОНА АРДЖАНАК, ЮЖНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ)

¹В.Е. Гагарин, ¹А.В. Кошурников, ¹Н.В. Желтенкова, ²М.С. Курбонова