

УДК 553.69

*А. А. Монгуш, Р. В. Кужугет*Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл,
e-mail: amongush@inbox.ru**СЫРЬЕВАЯ БАЗА ЦЕОЛИТОВ ТУВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ
ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ: КРАТКИЙ ОБЗОР****Ключевые слова:** цеолиты, добыча, народное хозяйство, рациональное природопользование, месторождение, опытно-промышленные испытания, Тува.

При всем многообразии полезных ископаемых, высокому качеству их месторождений и благоприятной конъюнктуре полезных компонентов, их освоение сдерживается, в первую очередь, отсутствием эффективных транспортных коммуникаций между республикой и с соседними регионами. В таких условиях первостепенное значение приобретает проблема освоения минерального сырья, которое может быть востребовано отраслями хозяйства самого региона, в первую очередь, сельского хозяйства. Эффективное и рациональное использование таких видов минерального сырья, как цеолиты, будет способствовать эффективному решению разных проблем в производстве стройматериалов, создании адсорбентов для очистки сточных вод, ускоренному развитию ряда отраслей животноводства, созданию дополнительных форм занятости населения республики и в целом созданию благоприятных условий для привлечения в экономику республики капиталов российских и зарубежных фирм. В 24 километрах от столицы Республики Тыва расположено Каменное месторождение цеолитов, использование которых в качестве подстилки или кормовой добавки улучшает показатели в ряде отраслей животноводства Республики Тыва и в целом может способствовать созданию благоприятных условий для привлечения инвестиций в экономику Тувы. В данной статье проведен анализ и обобщение опубликованной литературы и фондовых материалов Тувинской геологоразведочной экспедиции по теме статьи.

Введение

Цеолиты – это группа минералов, водных алюмосиликатов кальция и натрия. Особенности структуры и строения цеолитов определяют их уникальные адсорбионные, катионообменные и каталитические свойства, обуславливающие различное их применение в промышленности и сельском хозяйстве. Благодаря их физико-химическим свойствам и технологическим качествам они эффективно используются как ионообменники для защиты окружающей среды, как добавка к наполнителю при производстве бумаги, в строительной индустрии для улучшения свойств стройматериалов, в сельском хозяйстве, в производстве косметики и т. д. Важное значение цеолиты имеют и для экологических нужд – они в чистом виде или из богатых руд используются для очистки отходящих газов промышленных предприятий от окислов серы, высокомутных вод для питьевого и промышленного водоснабжения, городских и сточных вод от аммонийного азота (Неметаллические..., 1984). Следует подчеркнуть их важное значение для сельского хозяйства. Цеолиты, благодаря своим свойствам, способствуют повышению длительности действия ми-

неральных удобрений, исключают потери из грунтов питательных веществ с поливной водой, значительно сокращают расход удобрений (в 2–2,5 раза), устраняют опасность загрязнения химикатами, снижают заболеваемость животных, улучшают их показатели и микроклимат в животноводческих помещениях при использовании их в качестве подстилки.

Целью исследования является характеристика сырьевой базы цеолитов на территории Республики Тыва и возможностей использования цеолитов в народном хозяйстве республики.

К настоящему времени по цеолитам Тувы опубликован ряд небольших статей и тезисов докладов, посвященных исследованиям той или иной конкретной научной проблемы, и в то же время отсутствует обзорная работа о свойствах цеолитов Тувы и возможностях их использования. В данной статье проведен анализ и обобщение опубликованной литературы и фондовых материалов Тувинской геологоразведочной экспедиции по теме статьи.

**Геологические особенности
и расположение**

В Пий-Хемском кожууне, в 24 км к северу от г. Кызыла, расположено

месторождение цеолитов Каменное. Местоорождение приурочено к северному крылу Сессерлигско-Тапсинской мульды, сложенной нижнекарбовыми туфогенно-осадочными породами и перекрывающимися их с размывом юрскими угленосными отложениями. Продуктивная цеолитсодержащая толща вмещается нижнекарбовой актальской свитой с видимой мощностью 130–140 м. Свита сложена песчаниками, алевролитами, туфами, гравийными конгломератами, автокластическими брекчиями алевролитов, известняками. Для осадочных пород верхней части (60–70 м) свиты характерна значительная примесь туфового материала, с которой и связана цеолитизация или собственно продуктивная толща. Туфоалевролиты полимиктовые, мелко- и среднезернистые, массивные. Микроскопически они литокристаллокластические, метаалевроитовые. Обломки пород составляют 30%, в т. ч. кварц – 55%, альбит – 5%, кальцит – 15%, кластическая слюда – 5%, глинистые сланцы – 20%. Размер обломков преобладает алеври-

товый (менее 0,05 мм). Цемент – 70%: глинистый (стекловатый), резко количественно преобладает над обломками. Туфы кварцево-гидрослюдистого состава, тонкозернистые. Размер обломков не более 0,05 мм, остроугольной формы. Порода насыщена глинистыми частицами размером до 0,02 мм, соразмерными с алевроитовыми обломками кварца. В цементирующей массе преобладают субпараллельные пластинки светло-зеленого минерала. Средняя плотность пород 2,62 г/см³ (Колянкин, 2015).

Актальская свита, вмещающая цеолитовую минерализацию, с видимым согласием перекрывается разногачечными конгломератами, с редкими маломощными линзами песчаников и гравелитов, среднеюрской эрбекской свитой. Отложения обеих свит имеют моноклиналиное залегание с выдержанным северо-восточным простиранием и опрокинутым залеганием слоёв под углом 75–90° к югу. Разрывные нарушения не установлены. Породы трещиноваты, трещины преимущественно

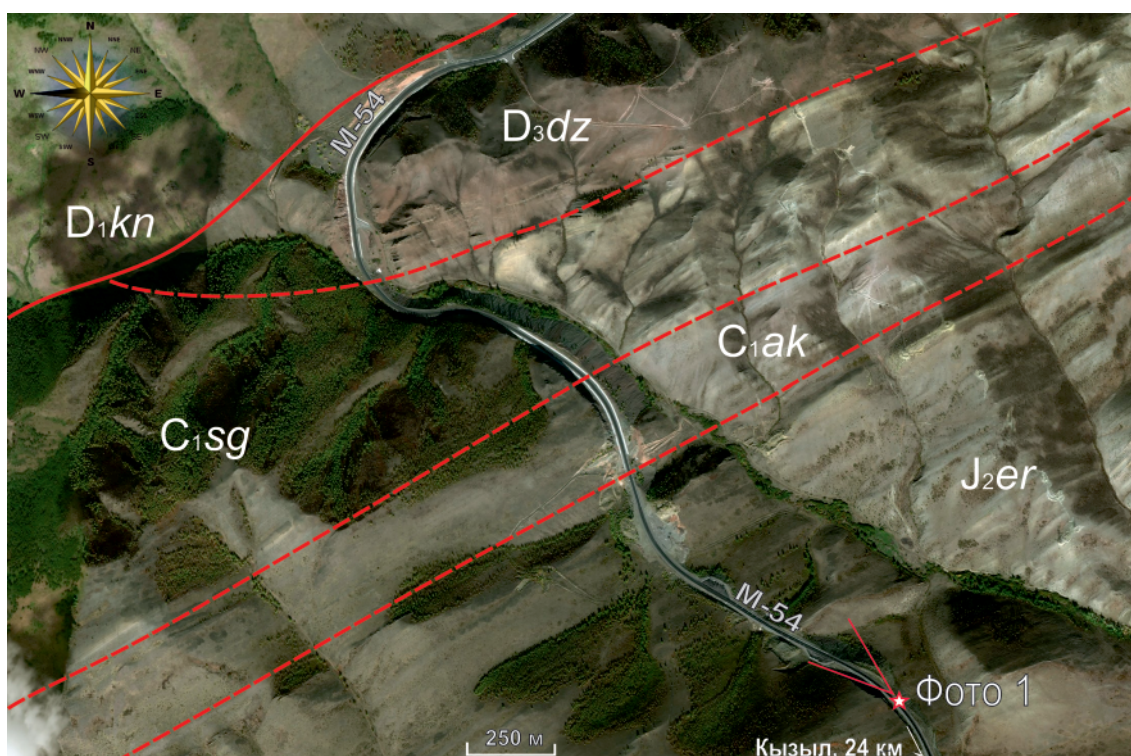


Рис. 1. Залегание цеолитоносной толщи (актальская свита C_{1ak}).
 Звездочкой показано место съемки рис. 2. М-54 – федеральная автомагистраль.
 C_{1sg} – суглумская свита: песчаники, алевролиты, конгломераты, известняки.
 D_{3dz} – джаргинская свита: красноцветные конгломераты, песчаники, гравелиты и алевролиты.
 D_{1kn} – кендейская свита: риолиты, андезиты и порфиридные базальты

ориентированы параллельно напластованию, реже встречаются поперечные и диагональные трещины.

По содержанию цеолитов руды месторождения Каменное являются бедными: 155–40%. Основную часть руды составляет, главным образом, туфогенный материал. По запасам категории C_2 (1261,7 тыс. т) и прогнозным ресурсам P_1 (2106 тыс. т) данный объект относится к мелкому по запасам (15–10 млн т) месторождению с бедными по содержанию цеолитов рудами. Минеральная форма цеолитов – клиноптилолит, гейландит. Форма залежей пластообразная, мощность залежей 55,4–64,9 м, в среднем 62,8 м. В составе цеолитоносной толщи выделены 3 самостоятельные пачки – нижняя, средняя и верхняя, разделённые безрудными интервалами мощностью от 3,1 до 8,9 м. Протяженность цеолитоносной толщи в пределах изученного участка составляет 520 м. Средняя мощность нижней цеолитсодержащей пачки – 13,5 м при среднем содержании цеолитов 16%; средняя мощность средней и верхней пачек, соответственно, 8,6 м,

16% и 28,6 м, 19%. Гидрогеологические условия месторождения благоприятные – до уровня эрозионного вреза – 9805–1180 м, до которого подсчитаны запасы и ресурсы, естественного дренажа подземных вод не выявлено. Горно-геологические и горно-технические условия участка благоприятны для его отработки карьерным способом. Первоочередным объектом разработки рекомендуется верхняя цеолитоносная пачка как наиболее мощная и с более высоким содержанием цеолитов (Лебедев, 2012).

Туфогенная цеолитизированная порода примерно на 75% состоит из угловатых, рогольчатых обломков размером 0,02–0,1 мм цеолитизированного вулканического стекла и неокатанных зерен обычного осадочного материала – кварца, полевых шпатов, биотита и т. д., в сумме не превышающих 20%. В качестве цемента выступают также более мелкие цеолитизированные частички пепла и карбоната (~5–10%). Цеолит красноватый, изотропный, псевдоморфно замещает обломки вулканического стекла (рис. 2, 4) (Сапелкина, Дружкова, 2012).

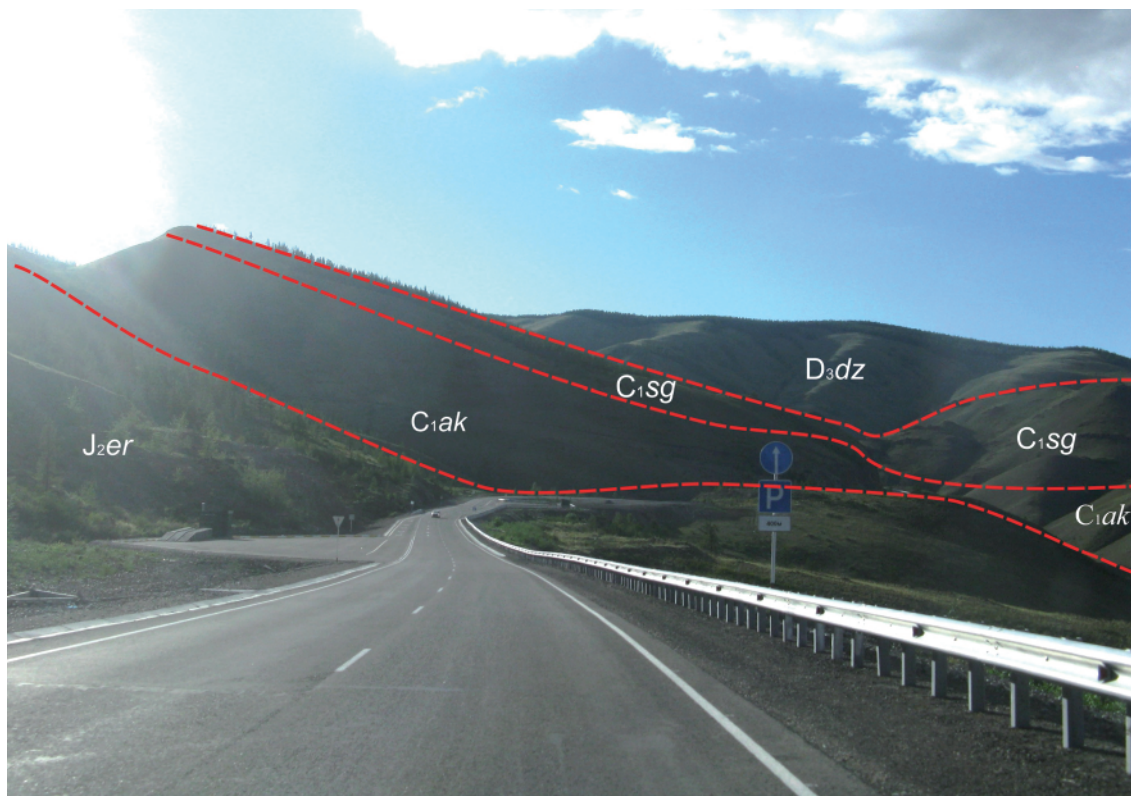


Рис. 2. Выходы цеолитоносной актальской свиты (C_{1ak}) на участке федеральной трассы М-54, фото А. Макунина, пометки – авторов



Рис. 3. Туффит алевритовый, цеолитизированный, обр. КМ-2. Фото из коллекции Р.В. Кужугета.

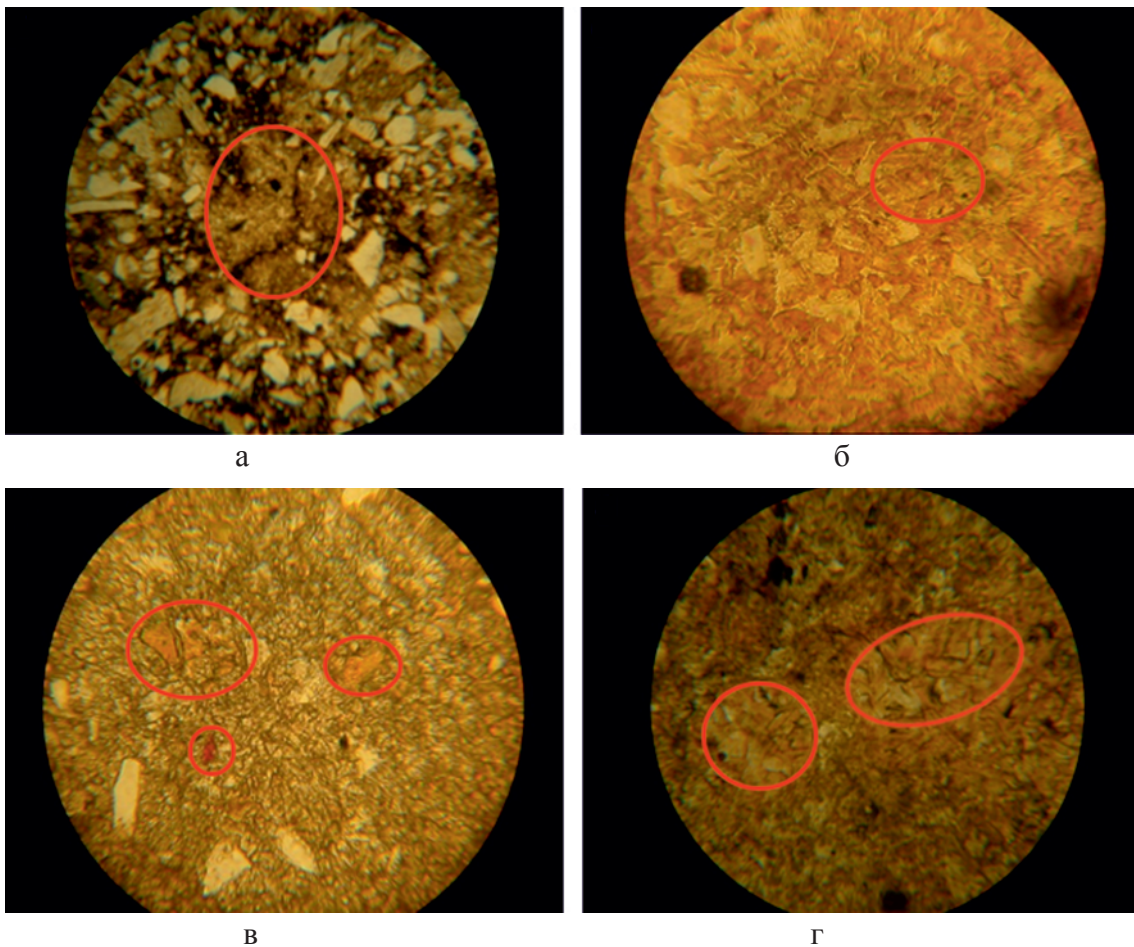


Рис. 4. Микрофотографии шлифов цеолитсодержащих пород месторождения Каменное: а – обр. КМ-1 алеврит псаммитовый с цеолитизированным цементом (показан в красном кружке), 100-кратное увеличение, николи скрещены; б – КМ-2 туффит алевритовый цеолитизированный, обломки вулканического стекла, представленные цеолитом; в – известняк с примесью осадочного и пирокластического материала, цеолитизированные пепловые частицы; г – гнезда пластинчатого цеолита в туффите КМ-2 (Сапелкина, Дружкова, 2012; Сапелкина и др., 2012)

Все осадочные породы от известняка до туффита содержат цеолитизированные пирокластические обломки от 5 об. %

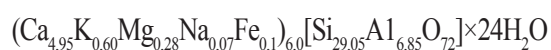
в известняках до 80 об. % в туффите. В частности образец КМ-1 представляет собой алеврит псаммитистый

массивной текстуры. Частицы размером 0,1–0,5 мм составляют не более 20 об. %. Обломочный материал представлен кварцем, плагиоклазом, калишпатом, биотитом, обломками кремнистых пород с примесью карбоната, причем цеолиты и карбонат развиваются по пепловым частицам вулканического стекла. Количество обломков, сложенных цеолитом, не превышает 10 %. Образец КМ-2 – туффит алевритовый, цеолитизированный. Цвет цеолита красноватый, псевдоморфно-замещающий обломки вулканического стекла, в скрещенных николях изотропный. Порода на 75 % состоит из угловатых, рогульчатых обломков размером 0,02–0,1 мм цеолитизированного вулканического стекла и неокатанных зерен обычного осадочного материала – кварца, полевых шпатов, биотита и т. д., в сумме не превышающих 20 %. Суммарное количество цеолита 80 об. %.

По петрохимическому составу обр. КМ-1 представляет кислую, умеренноглиноземистую и калиевую породу, КМ-2 – основная по кремнекислотности порода кальциевой и щелочной специализации (табл. 1). Приведенные в табл. 2 содержания главных элементов в целом соответствуют содержаниям породообразующих окислов, а по концентрации

таких элементов-примесей, как Ba, Sr, Cr, Zr, S, Rb, Zn, Ni и Y, исследованные образцы не имеют значимых отличий.

Рентгенофазовым анализом (Shimadzu XRD-6000) изучался химический состав цеолитсодержащей породы данного месторождения, согласно которому она состоит из следующих фаз: алюмосиликатная (цеолит, монтмориллонит, гидрослюды) – 60,34%, силикатная (кварц) – 17,80% и карбонатная (кальцит) – 21,86%. Основным минералом является Са-клиноптилолит, его кристаллохимическая формула



отражает цеолито-глинисто-полевошпато-кварцевый состав породы (Карасал и др., 2015).

Кроме уже известного Каменного месторождения цеолитов, возможно обнаружение и других подобных проявлений в каменноугольных туфогенно-осадочных толщах в пределах Тувинского прогиба. Имеются также данные о присутствии минералов цеолитов гидротермального происхождения в измененных кислых эффузивах девонского возраста в Центральной и Западной Туве (Арзак, Терлиг-Хая, Сарыг-Хая и др.). Оценка их практической ценности и масштабы проявлений требуют дополнительных исследований.

Таблица 1

Петрохимический состав цеолитсодержащих пород месторождения Каменное, мас. %

Обр.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
КМ-1	77,88	9,08	0,33	2,78	0,01	1,76	5,64	0,64	1,81	0,02
КМ-2	51,74	10,99	1,05	6,20	0,05	4,18	19,31	3,26	3,08	0,11

Примечание. По данным доклада Сапелкиной Т.В. (Сапелкина и др., 2012).

Таблица 2

Элементный состав цеолитсодержащих пород месторождения Каменное, мас. %

Элемент	Образец		Элемент	Образец		Элемент	Образец	
	КМ-1	КМ-2		КМ-1	КМ-2		КМ-1	КМ-2
O	49,03	48,66	Na	0,48	2,12	Cr	0,015	0,022
Si	31,89	24,37	Ti	0,149	0,337	Zr	-	0,021
Ca	9,13	10,44	P	0,063	0,951	S	0,018	0,016
Al	4,18	5,90	Mn	0,117	0,084	Rb	0,006	0,009
Fe	1,80	3,04	C	0,275	0,067	Zn	0,005	0,008
K	1,50	2,50	Ba	0,048	0,055	Ni	0,005	0,006
Mg	0,91	2,13	Sr	0,331	0,032	Y	0,003	0,002

Примечание. Анализы выполнены в Томском государственном университете рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре Lab-X 3500A (Сапелкина и др., 2012).

**Технологические свойства
и эффективность использования
цеолитов Тувы в народном хозяйстве**

Цеолиты данного месторождения характеризуется как адсорбенты высокой активности на основании оптической плотности химически модифицированных образцов цеолитсодержащей породы, изменяющейся от 0,375 до 0,403. Экспериментальными исследованиями Сапелкиной Т.В. и ее соавторов установлено, что действие кислотных растворов различной концентрации (0,25; 0,5; 1; 2; 5; 12 М) приводит не только к изменению химического состава, но и позволяет существенно изменить физико-химические показатели и улучшить структурные характеристики цеолитсодержащей породы месторождения Каменное. Кислотным воздействием может быть развита пористость, адсорбционная способность и удельная поверхность клиноптилолита, что улучшает сорбционные свойства для расширения сфер применения цеолитсодержащей породы в качестве эффективного поглотителя в различных технологических процессах (Сапелкина и др., 2016).

Исследованиями Карасала Б.К. с коллегами выявлено, что после тонкого измельчения и увлажнения цеолитсодержащая порода месторождения Каменное приобретает умереннопластичное состояние за счет разрушения структуры и разбухания цеолитовых и глинистых минералов, что позволяет получить керамические изделия хорошего качества (Карасал и др., 2017). Также, по результатам изучения физико-химических характеристик цеолитсодержащей породы Каменного месторождения, установлена возможность использования цеолитсодержащих пород в качестве фильтрующего материала в очистке сточных вод (Карасал и др., 2015).

Термоустойчивость цеолитов – важная характеристика, позволяющая судить о возможностях их использования в различных технологических процессах, поскольку особенности строения алюмокремнекислородного каркаса определяют уникальные свойства цеолитов. Стойкость кристаллической решетки под действием температур в значительной степени увеличивают эффективность их действия в качестве адсор-

бентов, катализаторов и молекулярных сит. Исследование Сапелкиной Т.В. и др. (2012) процессов при термической обработке цеолитсодержащих пород Тувы показало, что потеря воды в цеолитсодержащих породах приводит к увеличению адсорбционной емкости, что характерно для материалов в дегидратированном состоянии. Для исследований авторы отобрали семь лабораторных проб цеолитсодержащих пород месторождения Каменное. Они выявили, что эндотермические эффекты при 50–100 и 650–860 °С связаны с потерей адсорбированной и конституционной воды. Вода из цеолитсодержащих пород выделяется медленно. С повышением температуры и уменьшением влажности происходит сужение каналов структуры цеолита, в результате процесс выделения воды увеличивается. Потеря веса образцов составляет от 14 до 21 %. Следующие эндотермические реакции (807–856 °С) обусловлены изменением структуры и аморфизацией образца (Сапелкина и др., 2012).

Цеолитсодержащие породы данного месторождения подвергались также опытно-промышленным испытаниям сельскохозяйственного назначения. Так, между коллективным сельскохозяйственным предприятием «Кок-Тей» и Тувинской геологоразведочной экспедицией на свином комплексе «Кок-Тей» были проведены испытания на опытной партии свиней в количестве 100 голов. Технологическая переработка сырья включала только дробление до размера зерен 3 мм и менее. Целью проведенных испытаний была оценка эффективности использования цеолитсодержащих пород в качестве кормовой добавки при откормке свиней. В процессе этих работ, которые проведены в период с июня по середину декабря 1993 г., в рацион питания опытной партии животных ежедневно включались в объеме 3 % цеолитсодержащие породы, раздробленные до размера менее 3 мм. Сохранность животных за весь период испытаний составила 100 %. Среднесуточный фактический привес поросят опытной группы превысил привес контрольной группы (поросят из остального поголовья цеха) на 145 %. Выполненный полуколичественный спектральный анализ свиного мяса животного опытной

группы показал очень низкие содержания вредных элементов (% в озоленном остатке мяса): свинец – 0,0005, кадмий – 0,0003, цинк – 0,01, мышьяк, ртуть и фтор не обнаружены) (Монгуш, 2017; Чучко и др., 1995).

Кроме того, между птицефабрикой «Кызылская» и Тувинской геологоразведочной экспедицией на птицефабрике «Кызылская» были проведены испытания на опытной партии кур-несушек в количестве 5000 голов. Целью проведенных испытаний была оценка эффективности использования цеолитсодержащих пород в качестве кормовой

добавки для кур-несушек. В процессе этих работ, которые проведены в период с июня по ноябрь 1993 г., в рацион питания опытной партии животных ежедневно включались в объеме 3% цеолитсодержащие породы, раздробленные до размера менее 2 мм. В качестве контрольной группы параллельно изучались куры-несушки из остального поголовья фабрики. Основные результаты испытаний приведены в таблице. В виду того, что качественные показатели за первые три месяца заметно отличаются от показателей трех последних месяцев, они были сведены в две группы (табл. 3).

Таблица 3

Основные результаты применения цеолитсодержащих пород месторождения Каменное в качестве кормовой добавки для кур-несушек на птицефабрике «Кызылская»

Основные показатели	Среднее за июнь-август		Среднее за сент.-ноябрь	
	Контрольная группа	Опытная группа	Контрольная группа	Опытная группа
Яйценоскость (шт./мес.)	19,21	17,99	16,95	19,89
Насечка (%)	0,80	0,87	0,99	0,45
Загрязнение скорлупы (%)	24,26	8,76	24,6	5,48
Сохранность птиц (%)	99,15	99,40	97,4	97,8
Выход кормов на одну голову (кг/ед.)	3,31	3,20	3,54	2,81

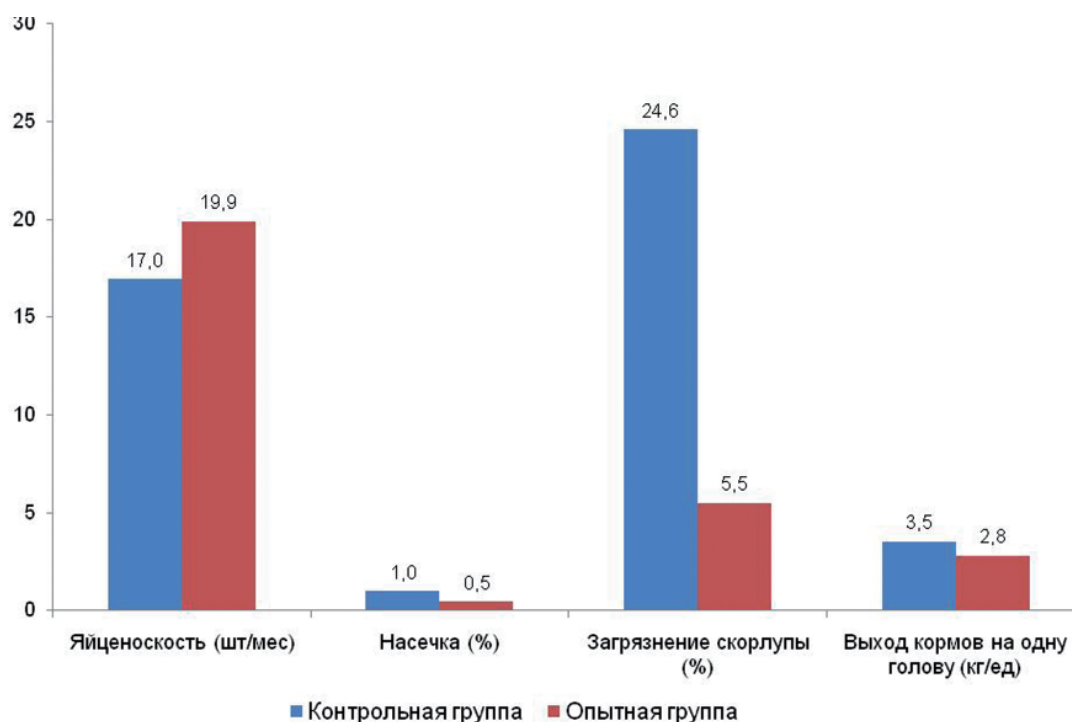


Рис. 5. Улучшение показателей кур-несушек на птицефабрике Кызыльская в результате применения цеолитов месторождения Каменное в качестве кормовой добавки. Рисунок составлен по данным табл. 3

Различие показателей за июнь-август и сентябрь-ноябрь обусловлено влиянием адаптационного периода. Для объективной оценки эффективности применения цеолитового сырья необходимо использовать данные второго периода (сентябрь-ноябрь). В период с октября по ноябрь была также изучена упругость и тонкость скорлупы по результатам 15 определений яиц из опытной и контрольной групп. В результате сравнения с нормативными данными процент соответствия упругости яиц по контрольной группе составил 67%, по опытной группе – 80% (рис. 5). Содержание элементов-примесей в яйцах опытной и контрольной групп кур-несушек по результатам полуколичественного спектрального анализа оказалось идентичным. Среднестатистические данные за весь период испытаний – повышение яйценоскости на 4,8%, снижение расхода кормов на одну голову на 12,3%, улучшение показателей по насечке и загрязненности скорлупы яиц, сохранности птиц, подтверждают значительный экономический эффект от использования цеолитсодержащих пород в качестве кормовой добавки для кур-несушек.

Несмотря на предварительный характер результатов испытаний из-за их упрощенности, непродолжительности и возможных изъянов в регламенте, полученные данные убедительно доказали практическую ценность и важность использования цеолитсодержащих пород в животноводстве республики. Возможно также использование цеоли-

тового сырья месторождения Каменное совместно с минеральными удобрениями для повышения урожайности сельскохозяйственных культур, а также применение их в качестве адсорбента в различных отраслях хозяйства Тувы (Монгуш, 2017; Чучко и др., 1995).

Заключение

При всем многообразии полезных ископаемых, высокому качеству их месторождений и благоприятной конъюнктуре полезных компонентов, их освоение сдерживается, в первую очередь, отсутствием эффективных транспортных коммуникаций между республикой и с соседними регионами (Дабиев и др., 2010; Дабиев, 2011; Дабиев, Ягольнищев, 2012; Лебедев, Кужугет, 1998; Лебедев и др., 2001). В таких условиях первостепенное значение приобретает проблема освоения минерального сырья, которое может быть востребовано отраслями хозяйства самого региона, в первую очередь, сельского хозяйства. Эффективное и рациональное использование таких видов минерального сырья, как цеолиты, будет способствовать эффективному решению разных проблем в производстве стройматериалов, создании адсорбентов для очистки сточных вод, ускоренному развитию ряда отраслей животноводства, созданию дополнительных форм занятости населения республики и в целом созданию благоприятных условий для привлечения в экономику республики капиталов российских и зарубежных фирм.

Библиографический список

1. Дабиев Д.Ф. Управление минерально-сырьевым потенциалом региона (на примере Республики Тыва). – Кызыл: Изд-во ТувГУ, 2011. – 123 с.
2. Дабиев Д.Ф., Кужугет К.С., Лебедев В.И. Проблемы и перспективы освоения минерально-сырьевой базы Республики Тыва // Горный журнал. – 2010. – № 11. – С. 18–21.
3. Дабиев Д.Ф., Ягольнищев М.А. Экономическая оценка эффективности освоения минеральных ресурсов Тувы / Отв. ред. докт. геол.-минер. наук В.И. Лебедев. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2012. – 130 с.
4. Карасал Б.К., Сапелкина Т.В., Чульдун К.К. Возможности применения цеолитсодержащих пород Тувы при очистке сточных вод ТЭЦ // Вода: химия и экология. – 2015. – № 3 (81). – С. 52–55.
5. Карасал Б.К., Серен Ш.В., Сат Д.Х., Сапелкина Т.В. Особенности спекания керамической массы на основе цеолитсодержащей породы Тувы // Естественные и технические науки. – 2017. – № 3 (105). – С. 135–139.

6. Колямкин В.М. ГДП-200 листа М-46-V (Кызыльская площадь). – Красноярск: АО «Красноярскгеолсъемка», 2015. – С. 193–194.
7. Лебедев В.И., Кужугет К.С. Минерально-сырьевой потенциал Республики Тыва: возможности его использования в 1999–2001 гг. и перспективы дальнейшего освоения. – Кызыл: ТИКОПР СО РАН, 1998. – 28 с.
8. Лебедев В.И., Кужугет К.С., Лебедева М.Ф. Изученность минерально-сырьевых ресурсов Республики Тыва // Состояние и освоение природных ресурсов и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества: Научные труды ТувИКОПР СО РАН. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2001. – С. 26–33.
9. Лебедев Н.И. Минеральные ресурсы Тувы: обзор и анализ полезных ископаемых / Отв. редактор докт. геол.-мин. наук В.И. Лебедев. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2012. – 284 с.
10. Монгуш А.А. Минерально-сырьевая база Тувы и возможности его освоения (на примере золота, цеолитов и гипса) // Региональная экономика: технологии, экономика, экология и инфраструктура: материалы II Международной научно-практической конференции: (18–20.10.2017, Кызыл, Россия). – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2017. – С. 175–179.
11. Неметаллические полезные ископаемые СССР. Справочное пособие / под ред. В.П. Петрова. – М.: Недра, 1984. – 407 с.
12. Сапелкина Т.В., Дружкова Е.К. Исследование состава цеолитсодержащих пород Тувы // Металлогения древних и современных океанов: материалы научной школы. – Вып. 18. – Миасс: ИГиМ УрО РАН, 2012. – С. 348–349.
13. Сапелкина Т.В., Дружкова Е.К., Кара-Сал Б.К. Исследование процессов при термической обработке цеолитсодержащих пород Тувы // Природные системы и экономика приграничных территорий Тувы и Монголии: фундаментальные проблемы, перспективы рационального использования: материалы Молодежной научной конференции с международным участием (11–13.04.2012, Кызыл). – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2012. – С. 54–56.
14. Сапелкина Т.В., Куликова М.П., Карасал Б.К. Влияние химического модифицирования на физико-химические свойства цеолитсодержащих пород // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Эколого-экономические проблемы природопользования. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2016. – С. 112–118.
15. Чучко В.Н. Поисково-оценочные работы на цеолиты на участке Каменный в Центральной Тыве. – Кызыл: Тыв. фил. ФБУ «ТФГИ по СФО», 1995. – Инв. №2183.